



# **Una propuesta no invasiva para la documentación integral del arte rupestre**

Miguel Ángel Rogerio Candelera

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

---

Trabajo de investigación para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados dirigido por los Dres. Juan Manuel Vicent García (Instituto de Historia, CSIC) y Leonardo García Sanjuán (Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla).

Departamento de Prehistoria y Arqueología  
Facultad de Geografía e Historia  
Universidad de Sevilla

Diciembre de 2007

Cubierta: Motivo esquemático del abrigo de Peñas Cabrera,  
Casabermeja (Málaga). Foto Cesáreo Sáiz Jiménez.

©2007 Miguel Ángel Rogerio Candelera

I.S.B.N. 978-84-690-9905-6

Edita: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, C.S.I.C.

Imprime:

Impreso en España — Printed in Spain

Trabajo de Investigación para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA), presentado en la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Sevilla

Miguel Ángel Rogerio Candelera

Sevilla, Enero de 2008





# Índice

	<i>Página</i>
Preámbulo	11
1. Introducción. Hacia un concepto de documentación integral del arte rupestre	17
2. Los sistemas tradicionales de documentación: una revisión de sus ventajas y limitaciones	29
2.1. Introducción	31
2.2. Los croquis o dibujos a mano alzada	33
2.3. El calco directo	37
2.4. Calcos por frotación	43
2.5. Obtención de moldes	47
2.6. Fotografía analógica	51
2.7. Fotogrametría analógica	59
3. El análisis de imagen como alternativa	63
4. Dos casos prácticos	77
4.1. Cubiertas bióticas: Necrópolis de Carmona (Carmona, Sevilla)	81
4.2. Cubierta cultural: el abrigo L de Muriecho (Colungo, Huesca)	91
5. Conclusiones	101
Bibliografía	107

## Índice de Figuras

Figura 1.1. Fotografía del impacto de una gota de lluvia sobre un suelo. El choque produce la dispersión de fragmentos y agua alrededor de la zona de impacto. Fuente: Derpsch (2005).	25
Figura 1.2. El contacto directo con las manifestaciones rupestres, como en este caso, en el que se coloca una mano sobre los motivos rupestres para la comparación de tamaños puede tener como efectos indeseados, entre otros, la transferencia de sustancias o la difuminación de los motivos por erosión mecánica además de la contaminación microbiana por bacterias aportadas por la piel humana. Fuente: González y Alvarado (1993).	28
Figura 2.2.1. Dibujo a mano alzada con cuadrícula de referencia. La cuadrícula permite la reducción del motivo a una escala publicable. Fuente: elaboración propia.	33
Figura 2.2.2. Uso de la cámara clara para la reducción de escala de un calco. Fuente: elaboración propia.	34
Figura 2.2.3. Calco de un “arquero” de las cuevas de La Araña según Benítez Mellado y Hernández Pacheco (Hernández Pacheco 1924). Nótese la importancia de la reconstrucción efectuada a partir de unos restos bastante exigüos. Fuente: Moneva Montero (1993).	35
Figura 2.3.1. Proceso de elaboración de un calco directo con lápiz graso sobre papel de celofán. Fuente: Aujoulat (1987).	37
Figura 2.3.2. Arañazos producidos en un ortostato del dolmen de Mota Grande, Vereá (Ourense) debidos a la realización de un calco por procedimientos directos. Fuente: Carrera Ramírez (2006).	39
Figura 2.3.3. Discrepancias entre calcos obtenidos por procedimientos directos (A) y realizados a partir de fotografías del motivo pictórico (B), según Schoonraad (1968).	40
Figura 2.3.4. Fotografía de un grabado rupestre y calco directo del mismo. Fuente: Fossati (1997).	41
Figura 2.4.1. Aplicación de la técnica del <i>frottage</i> a un panel grabado en Bohuslän, Suecia. Fuente: Bertilsson (2001).	43
Figura 2.4.2. Petroglifos rellenos de color rojo para una mejor visualización. Santa María de Oia (Pontevedra). Fuente: Novoa (1995).	45
Figura 2.5.1. Efectos de la documentación mediante lotinoplastia llevada a cabo por Émile Rivière en La Mouthe a finales del siglo XIX. La adherencia de partículas a los restos de aceite mineral ha provocado la aparición del patrón reticular que puede observarse sobre el motivo grabado. Fuente: Aujoulat (1987).	48
Figura 2.6.1. Esquema de la proyección cónica: (a) objeto real; (a') imagen; (O) centro óptico. Fuente: elaboración propia.	52

Figura 2.6.2. Deformaciones de la imagen cuando (A) el centro óptico está delante del diafragma del objetivo y (B) cuando está detrás. A partir de Aujoulat (1987).	53
Figura 2.7.1. Utilización de la fotogrametría analógica para la restitución y el registro de motivos rupestres paleolíticos en la Sala de los Toros de Lascaux. Fuente: Aujoulat (1987).	59
Figura 3.1. Esquema de fisuración en el abrigo de Atlanterra (Tarifa, Cádiz). El esquema representa las direcciones generales de fisuración que permite la infiltración de agua y anticipa futuras zonas de rotura. Fuente: Hoyos <i>et al.</i> (1997).	65
Figura 3.2. Esquema del espectro electromagnético. Fuente: Frank Horst (2005) [ <a href="http://www.zeitmaschinen.com/svg/Spektrum.svg">http://www.zeitmaschinen.com/svg/Spektrum.svg</a> ].	67
Figura 3.3. Esquema de imagen multibanda, con $n$ planos definidos por sus coordenadas cartesianas y su valor de reflectividad medido en distintos intervalos de longitud de onda. Fuente: elaboración propia.	68
Figura 3.4. Ejemplo de corrección radiométrica de una imagen digital. El error sistemático del sensor en la imagen de la izquierda genera un bandeo en los valores de los píxeles, corregidos en la imagen de la derecha. Fuente: Chuvieco (2002).	70
Figura 3.5. Aplicación de filtros de paso bajo a una imagen. De izquierda a derecha: imagen original, filtro de 3x3, filtro de 3x9. Fuente: Chuvieco (2002).	71
Figura 3.6. Aplicación de filtros de paso alto para la detección de elementos lineales en determinadas direcciones. (a) imagen original, (b) filtro norte, (c) filtro oeste, (d) filtro noreste. Fuente: Chuvieco (2002).	71
Figura 3.7. Figura 3.7. Diferentes posibilidades para la composición de una imagen en falso color a partir de las componentes principales de una imagen tribanda (RGB). (A) PC1/PC2/PC3. (B) PC3/PC2/PC1. (C) PC1/PC3/PC2. (D) PC2/PC1/PC3. (E) PC2/PC3/PC1. (F) PC3/PC1/PC2. Fuente: elaboración propia a partir de diapositiva de Cesáreo Sáiz Jiménez.	74
Figura 3.8. Curva de reflectividad de la hematita ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en el intervalo de longitud de onda comprendido entre 0,2-3 $\mu\text{m}$ . La curva muestra la respuesta experimental de hematita químicamente pura en un intervalo que abarca desde longitudes de onda propias del ultravioleta hasta las propias del infrarrojo cercano. Fuente: United States Geological Survey Digital Spectral Library, splib04a. [ <a href="http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html">http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html</a> ].	75
Figura 4.1.1. Esquema de los puntos de muestreo en el interior del Mausoleo Circular. Fuente: elaboración propia.	82
Figura 4.1.2. A. Manchas de origen biológico del área de muestreo A. Fotografía restituída. B. Manchas de origen biológico del área B. Barra = 10 mm. Fuente: elaboración propia.	83
Figura 4.1.3. Archivo multicapa correspondiente al área A. Fuente: elaboración propia.	85

Figura 4.1.4. Imágenes originales y en escala de grises de la mancha A1 utilizadas para el análisis. Fuente: elaboración propia.	85
Figura 4.1.5. Medición de áreas en la mancha B1 utilizando ImageJ. A: imagen original; B: imagen binaria base para la medición. Fuente: elaboración propia.	87
Figura 4.1.6. Bandas utilizadas en los diferentes cubos de imagen para la mancha A1 y Componentes Principales obtenidas. Fuente: elaboración propia.	88
Figura 4.1.7. Evolución del crecimiento de la mancha A1 entre 1997 y 2005. El área colonizada se representa en negro y las zonas no colonizadas en diferentes niveles de gris. A. Estadio inicial (1997); B. Superficie colonizada entre 1997 y 2002; C. Colonización entre 2002 y 2005. Fuente: elaboración propia.	88
Figura 4.1.8. Precipitación total en el periodo 1997-2006. La línea roja marca la precipitación media anual (Ariño 1996). Fuente: Instituto Nacional de Meteorología. Estación meteorológica Aeropuerto de San Pablo (Sevilla).	90
Figura 4.2.1. Situación del abrigo Muriecho L en el Barranco de Fornocal (Colungo, Huesca). Fuente: elaboración propia.	91
Figura 4.2.2. Planta y alzados de Muriecho L, con la localización de los paneles pintados. Fuente: Baldellou et al. (2000).	92
Figura 4.2.3. A y B. Fotografías digitales del Panel 1 de Muriecho L, en relación con el calco general (Baldellou et al. 2000). Fuente: elaboración propia.	93
Figura 4.2.4. Segunda Componente Principal de la Figura 4.2.3B. Fuente: elaboración propia.	95
Figura 4.2.5. Imagen obtenida al aplicar el tratamiento digital descrito a la Figura 4.2.3B. Fuente: elaboración propia.	95
Figura 4.2.6. Segunda Componente Principaal de la Figura 4.2.3 <sup>a</sup> . Fuente: Elaboración propia.	96
Figura 4.2.7. Imagen obtenida a partir de la Figura 4.2.3A tras aplicar el tratamiento descrito más arriba. Fuente: elaboración propia.	96
Figura 4.2.8. Discrepancias entre el calco original del Panel 1 de Muriecho L y las imágenes obtenidas en el presente trabajo. Fuente: elaboración propia.	98

## **Índice de Cuadros**

Cuadro 2.2.1. Resumen de ventajas e inconvenientes del método de registro de motivos de arte rupestre mediante dibujo a mano alzada. Fuente: elaboración propia.	36
Cuadro 2.3.1. Resumen de ventajas e inconvenientes del registro de motivos de arte rupestre mediante métodos de calco directo. Fuente: elaboración propia.	42
Cuadro 2.4.1. Resumen de ventajas e inconvenientes del registro de motivos de arte rupestre mediante métodos de calco directo por frotación. Fuente: elaboración propia.	46
Cuadro 2.5.1. Resumen de ventajas e inconvenientes de la reproducción de grabados rupestres mediante moldeo directo. Fuente: elaboración propia.	50
Cuadro 2.6.1. Resumen de ventajas e inconvenientes de la reproducción de manifestaciones rupestres mediante fotografía analógica. Fuente: elaboración propia.	58
Cuadro 2.7.1. Ventajas e inconvenientes del uso de sistemas analógicos de fotogrametría como método de registro de arte rupestre. Fuente: elaboración propia.	61

## **Índice de Tablas**

Tabla 4.1.1. Características de las imágenes originales utilizadas en el trabajo. Fuente: Elaboración propia.	84
Tabla 4.1.2. Crecimiento relativo de manchas seleccionadas en el área de muestreo A. Al estadio inicial (1997) se le ha asignado un valor convencional del 100%. Fuente: elaboración propia.	89
Tabla 4.2.1. Porcentaje de información registrado por cada una de las Componentes Principales de la imagen de la Figura 4.2.3.B a partir de sus autovalores. Fuente: elaboración propia.	94



## **Preámbulo**





El Grupo de investigación “Deterioro de Monumentos” (PAI RNM201) es un equipo transdisciplinar integrado por científicos procedentes de distintas áreas, principalmente biólogos, químicos y geólogos. Las líneas de investigación del grupo con respecto a elementos del Patrimonio Histórico vienen desarrollándose desde inicios de los años ochenta del siglo pasado, a raíz del estudio de los procesos de deterioro de los murales de Vázquez Díaz en el monasterio de La Rábida (Saiz-Jimenez y Samson 1981, Saiz-Jimenez 1982). A finales de la década de los ochenta se llevan a cabo trabajos sobre la alteración de la piedra, tanto desde el punto de vista del biodeterioro inducido por microorganismos (García-Rowe y Saiz-Jimenez 1988) como por la contaminación atmosférica (Saiz-Jimenez 1988). A partir de estos inicios, el grupo ha ido desarrollando distintas líneas de trabajo relacionadas con el patrimonio histórico, tales como la *conservación de conjuntos arqueológicos* entre los que destacan Itálica, Baelo Claudia y la Necrópolis de Carmona en Andalucía, y, fuera de España, la Villa Imperial del Casale, en Piazza Armerina, Sicilia, o las catacumbas de San Calixto y Domitila en Roma; el estudio del *efecto de la contaminación atmosférica sobre monumentos y edificios históricos*, donde pueden resaltarse las intervenciones en la Catedral de Sevilla, la Basílica de Saint-Denis (Paris), el Duomo de Florencia o la Catedral de Malinas (Bélgica); el estudio del *biodeterioro de la piedra*, destacando el estudio de las catedrales de Sevilla, Salamanca y Toledo, o los relieves Sasánidas de Bishapour (Iran), y por último, la *conservación de pinturas rupestres en cuevas y abrigos*, sobresaliendo entre los lugares de estudio las cuevas de Doña Trinidad (Ardales, Málaga), el abrigo de Fuente del Trucho (Colungo, Huesca), Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias), La Garma (Omoño, Cantabria) y Lascaux (Montignac, Francia), entre las localizaciones con pinturas paleolíticas, o los abrigos del Tajo de las Figuras y cueva del Arco (Casas Viejas-Benalup, Cádiz), Atlanterra (Tarifa, Cádiz), Peñas Cabrera (Casabermeja, Málaga), cueva de Los Letreros (Vélez-Blanco, Almería), La Graja (Jimena, Jaén), el Encajero (Quesada, Jaén), la cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba), el abrigo de Muriecho L (Colungo, Huesca), y los del Tío Campano, Prado del Navazo y Cabras Blancas en el Parque Cultural de Albarracín (Teruel) o Grotta dei Cervi (Porto

Badisco, Italia) entre las localizaciones con manifestaciones parietales postpaleolíticas.

El incremento de intervenciones relacionadas con el patrimonio arqueológico en general, y con el arte rupestre en particular, creó en el grupo la necesidad de contar con miembros formados en arqueología que contribuyeran al desarrollo de métodos de registro y reproducción no invasivos de cubiertas bióticas y abióticas relacionadas con la conservación de estos sistemas naturales. En este contexto se enmarca el proyecto “Métodos analíticos para la documentación integral del Arte Rupestre prehistórico” (PIF 200540F0023), financiado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, coordinado por Juan M. Vicent García y dirigido en lo que respecta a cubiertas bióticas por Cesáreo Sáiz Jiménez, finalizado en Noviembre de 2007, y los posteriores “Aplicación de técnicas de teledetección a la monitorización del biodeterioro y documentación de bienes culturales en ambientes hipogeos” (PIE 200440E327) financiado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y dirigido por Cesáreo Sáiz Jiménez, y el Proyecto de Excelencia “Comunidades microbianas asociadas al desarrollo de eflorescencias en monumentos andaluces: determinación de su actividad metabólica mediante técnicas moleculares y papel en el biodeterioro” (P06-RNM-02318), financiado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y dirigido por Cesáreo Sáiz Jiménez, los dos actualmente en vigor. El presente Trabajo de Investigación es fruto del trabajo en estos proyectos de investigación, así como varias publicaciones científicas (Rogerio Candelera 2007, Rogerio Candelera *et al.* 2007a, b, c, Portillo *et al.* 2007), además de otras en preparación.

Algunos de los resultados de este Trabajo de Investigación se enmarcan, además, en el proyecto “Estudio integrado de los factores de deterioro de los sustratos rocosos del arte rupestre en Aragón: parámetros ambientales, geológicos y biológicos” (PM055/2006), financiado por el Gobierno de Aragón.

Esta investigación ha sido posible gracias a la ayuda y colaboración de los miembros del grupo “Deterioro de Monumentos”, y en especial de su director, el Prof. Dr. Cesáreo Sáiz Jiménez, sin cuyo asesoramiento y disposición

permanente este trabajo no hubiera podido llevarse a cabo. Quiero también expresar mi agradecimiento al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en cuyo Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla se ha realizado este trabajo.

Se agradecen a la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, y al Departamento de Educación, Cultura y Deporte de la Diputación General de Aragón las facilidades dadas para el estudio. En especial se agradece la colaboración prestada por D<sup>a</sup> Elisa Pinilla Pinilla (Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía), el Dr. Ignacio Rodríguez Temiño (Conjunto Arqueológico de la Necrópolis de Carmona), el Dr. Ramiro Alloza Izquierdo (Laboratorio de Análisis e Investigación de Bienes Culturales, Diputación General de Aragón) y el Dr. Vicente Baldellou Martínez (Museo de Huesca).



## **1. Introducción**

Hacia un concepto de documentación integral del arte rupestre



Emprender la realización de un trabajo que tenga como objetivo la mejora o el desarrollo de protocolos de documentación de arte rupestre conlleva la asunción de ciertas posiciones previas que delimiten el concepto mismo de documentación.

La primera de ellas se refiere a cuáles son los elementos que debemos documentar. Con respecto a esta materia, tradicionalmente, el registro de las manifestaciones artísticas parietales se ha enfocado de manera casi exclusiva a la obtención de imágenes de los motivos diseñados sobre las superficies soporte. Con este objetivo implícito se han desarrollado los métodos de documentación que reseñaremos a lo largo del Capítulo 2. Las superficies sobre las que se desarrolla este arte han pasado por lo general desapercibidas en los estudios, encontrándose en ocasiones algunas referencias, en muchos casos de tipo general, a su naturaleza litológica. El enfoque tradicional histórico-arqueológico ha permitido obtener mediante estos métodos informaciones muy útiles para establecer diversas hipótesis de naturaleza cronocultural. Sin embargo, los datos obtenidos a partir de estos métodos se han revelado como muy insuficientes cuando se trata de perseguir fines distintos, tales como los relativos a la conservación.

El arte parietal no es un conjunto de entidades aisladas en el tiempo y el espacio. Las manifestaciones rupestres se realizaron con unas técnicas diferenciadas, con una motivación o funcionalidad específicas, en un espacio físico elegido barajando una serie de factores que por lo general desconocemos, sobre una superficie soporte determinada, con unas condiciones ambientales concretas y, por último pero no por ello menos importante, en un momento histórico preciso. Las circunstancias técnicas, espaciales, litológicas, ambientales y cronológicas, independientemente de las características tipológicas de los motivos, cobran una importancia especial que aumenta con el paso del tiempo. Éstas, que podrían ser las premisas que determinaran el “estado inicial” de una elaboración rupestre cualquiera, no son por lo general las que han perdurado hasta nuestros días. Por el contrario, las condiciones (sobre todo las ambientales) no solo no han permanecido constantes sino que han sufrido variaciones, a menudo importantes, a lo largo

del tiempo. En cierto modo, la conservación de estas manifestaciones culturales tiene mucho que ver con lo mucho o poco que hayan cambiado las condiciones ambientales de su emplazamiento con respecto al estado inicial, es decir, con respecto a las condiciones que primaban cuando estas se realizaron.

Cada una de las localizaciones en las que existe arte rupestre constituye un sistema natural complejo, en el que, además de las interacciones entre la roca, el agua y el aire, intervienen en su estabilidad otros factores como la cohesión de los pigmentos utilizados, la propia composición de los mismos, en su caso la técnica de realización de los grabados, la existencia de comunidades vivas sobre o en la roca soporte y las características de las poblaciones que las componen, además de la incidencia de las acciones antrópicas, no siempre efectuadas de manera consciente y por ello no siempre consideradas en su verdadera medida.

A partir de esta reflexión podemos introducirnos en la segunda cuestión previa: la que se refiere a la finalidad de la documentación. En este sentido, aunque no representa ninguna novedad a nivel conceptual, debemos destacar que el arte rupestre no es sólo objeto de investigación, es también un destacado componente del patrimonio cultural, y como tal presenta una vertiente social que trasciende la propia investigación científica. La conservación de los valores históricos y culturales que lo hacen propiedad de la sociedad en su conjunto puede verse afectada por una documentación inadecuada. Por otra parte, desde la ética profesional del investigador, no puede entenderse una acción de documentación que olvide la conservación del bien cultural documentado o lo ponga en peligro de desaparecer. Cualquier acción de documentación sobre el arte rupestre debe intentar extraer el máximo de información minimizando la agresión al mismo.

Como veremos más adelante, los métodos tradicionales de documentación actuaban dentro de un enfoque reduccionista, en el sentido de ocuparse tan sólo de uno de los aspectos implicados, y por tanto no prestaban una atención expresa a la conservación del bien documentado. Aunque algunas referencias



a los problemas que se pudieran ocasionar utilizando diversos métodos salpican la bibliografía (Beltrán 1981, Aujoulat 1987, entre otros), lo cierto es que prácticas como el humedecimiento de las pinturas rupestres han perdurado hasta nuestros días y procedimientos tan lesivos como el calco directo o el *frottage* continúan aplicándose hasta el punto de considerarse “una etapa preliminar vital” (Clottes 1991: 166), e incluyéndose en protocolos recientes de documentación (Iakovleva 2002, Seoane Veiga 2005). En este sentido, la acción de los propios arqueólogos ha podido ser más lesiva para la conservación del arte rupestre que el largo tiempo transcurrido desde su elaboración.

Desde un punto de vista ético, la información obtenida al documentar paneles de arte rupestre debe ser eficaz tanto para el estudio propiamente arqueológico como para su conservación. Encarar la documentación de un sistema complejo atendiendo sólo a uno de sus elementos conduce a multiplicar esfuerzos innecesariamente, encarecerlos, y poner en peligro la conservación de un patrimonio ya de por sí bastante amenazado.

#### *Hacia un concepto de documentación integral del arte rupestre*

Como hemos apuntado ya, el arte rupestre forma parte de sistemas naturales complejos. Es importante recalcar que no se trata de que las manifestaciones rupestres se enmarquen en sistemas naturales, sino que son uno de los elementos constituyentes de los mismos. Todo sistema, entendido como conjunto de partes interdependientes y relacionadas entre sí, posee una estructura que viene dada por el conjunto de relaciones no fortuitas que unen cada una de las partes y el todo.

Cualquier sistema mantiene una pugna entre dos tendencias enfrentadas: por una parte, la entrópica, la tendencia del sistema a la desintegración, que es función del tiempo como se expresa en el Segundo Principio de la Termodinámica. Por otra, la homeostática, es decir, la tendencia a alcanzar un

equilibrio dinámico entre las distintas partes del sistema, o dicho de otro modo, la tendencia al mantenimiento del mismo.

Entender las manifestaciones rupestres como parte (subsistema) integrante de un sistema más complejo implica comprender que las partes del sistema no pueden conservarse de manera independiente, sino que son la estructura y las sinergias que se generan las responsables de su mantenimiento. Este enfoque holístico es de crucial importancia a la hora de entender la documentación como una herramienta de conservación. Si queremos comprender el funcionamiento del sistema deberemos intentar conocer cada uno de sus elementos, delimitar su dimensión espacial, averiguar las relaciones que mantienen los diversos elementos entre sí y documentar todo ello de la manera más extensiva posible.

Todo sistema natural está compuesto por una parte viva (biótica) y otra no viva (abiótica) (Kormondy 1969). Los elementos constituyentes de la parte abiótica del sistema son la materia orgánica y subproductos de la actividad orgánica más elementos inorgánicos como el agua y otros compuestos minerales. A estos elementos se suman una serie de factores físicos y gradientes, tales como la temperatura, la radiación solar, la humedad o los vientos. Estos últimos factores intervienen en la meteorización, que se define como “las modificaciones químicas y mineralógicas de diferentes tipos de rocas y minerales en la biosfera, que incluyen esencialmente procesos de solubilización de elementos minerales importantes (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, Na, Ti) de silicatos, óxidos, fosfatos, carbonatos y sulfatos” (Berthelin 1983: 223).

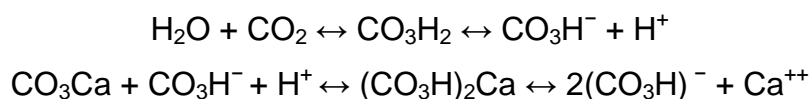
La parte biótica cobra un papel fundamental en los sistemas naturales, siendo para algunos autores la responsable de la homeostasis del sistema (Lovelock 1979, Krumbein 1983). Así, los organismos vivos, y en especial los microorganismos, tienen un papel muy relevante en los procesos geológicos que conllevan la formación y disolución de minerales (Berthelin 1983).

En efecto, la actividad de los microorganismos, especialmente los autótrofos, implica la oxidación de grandes cantidades de compuestos inorgánicos, y están directamente (por medio de procesos enzimáticos) o indirectamente (procesos no enzimáticos relacionados con productos de su metabolismo) implicados en la transformación de minerales (Berthelin 1983). Asimismo se ha señalado que los microorganismos pueden influir en varios procesos geológicos como la litificación (producción de sustancias inorgánicas que enlazan las partículas de sedimento entre sí), la formación de minerales autigénicos (facilitando la precipitación de sustancias inorgánicas), la diagénesis mineral (transformación de minerales primarios en secundarios), o la sedimentación de origen biológico (como la acumulación de carbonato cálcico procedente de caparazones de foraminíferos, por ejemplo). La erosión eólica y la debida al agua pueden también facilitarse por la previa actividad de los microorganismos (Ehrlich 1981).

No sólo es importante, a efectos de la conservación de las manifestaciones artísticas parietales, el papel que los microorganismos juegan en la meteorización de las superficies en las que llevan a cabo su ciclo vital. A estos efectos es de una importancia similar valorar qué cantidad de microorganismos están presentes en cada localización con arte rupestre. Las estimaciones del número de microorganismos presentes por gramo de suelo varían entre  $10^5$  y  $10^8$  individuos para suelos pobres o ricos en materia orgánica respectivamente (Ehrlich 1981) a cifras del orden de  $10^8$ - $10^9$  individuos o más (Ashelford *et al.* 2003, Portillo 2007).

La parte abiótica de los sistemas naturales está lejos de ser potencialmente inocua para la conservación de las manifestaciones rupestres. El agua, que puede aparecer como agua higroscópica, como agua pelicular, capilar o gravítica, es un elemento fundamental para el desarrollo de los organismos vivos. No se conoce cuales de estos tipos de agua pueden utilizar los microorganismos para su desarrollo (Ehrlich 1981), pero su presencia es garantía del desarrollo de la vida. Por otra parte, el agua es vehículo de sustancias disueltas que pueden constituirse en elementos deteriorantes. Así, la conocida reacción entre el agua cargada de dióxido de carbono en disolución

y el carbonato cálcico está en el origen del modelado kárstico al facilitar la disolución de las rocas carbonatadas, de otro modo insolubles en agua:



La propia acción disolvente del agua posibilita la solubilización y transporte de iones que pueden migrar hacia la superficie de la roca donde acabarán precipitando al evaporarse el agua que los transporta, ocasionando los cristales roturas en la película pictórica y costras que pueden ocultar pinturas y grabados (Benito *et al.* 1993).

El agua disociada en  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ , por otra parte, se incorpora a la estructura de los minerales silíceos produciendo hidrólisis, o lo que es lo mismo, la disgregación de la red interna del mineral (Lillo *et al.* 1982). En los feldespatos, en particular, el resultado final de este proceso es la caolinización, es decir, la transformación total de los mismos en caolín y otras arcillas.

El gradiente térmico es responsable de otro tipo de meteorización, la meteorización mecánica. Su causa principal son las variaciones de temperatura, que en latitudes medias y altas inducen procesos de gelifracción (Lillo *et al.* 1982) debidos a la acción continuada de la congelación y el deshielo del agua presente en su superficie. A partir de juntas de estratificación o de fracturas de esfuerzo mecánico presentes en las rocas, el agua se hiela, aumentando de volumen, mientras que la roca se contrae. Al subir la temperatura, el hielo se funde y la roca se dilata. El resultado de la continuada repetición de este proceso es la fragmentación de la roca. En zonas cálidas, con gran amplitud térmica, se produce un fenómeno análogo al haber marcadas diferencias de temperatura entre el día y la noche. En este caso, la fragmentación se produce por la repetida dilatación y contracción de la roca.

La diferente composición de los pigmentos empleados para la elaboración de pinturas rupestres produce tonos con distintos albedos. Al exponerse directamente a la radiación solar se producen diferentes comportamientos

térmicos que pueden incidir en el deterioro de la capa pictórica (Hall *et al.* 2007). En determinadas circunstancias, los componentes con un mayor albedo pueden incluso alcanzar mayores temperaturas que los tonos más oscuros y experimentar fluctuaciones mayores de temperatura (Hall *et al.* 2005, 2007), produciéndose situaciones de *stress* térmico perjudiciales para la conservación.

El viento, por otra parte relacionado también con el gradiente térmico, es un importante agente erosivo. Las partículas sueltas transportadas por el viento (tanto mayores cuanto más energía tenga el chorro de aire) producen la abrasión de las rocas (Lillo *et al.* 1982). Según su textura previa, las rocas sufrirán una erosión de tipo alveolar (las rocas de textura granulosa), o el pulido (rocas de textura homogénea, como las calizas).

Pero quizá el principal agente erosivo de tipo mecánico sea el agua en movimiento. La erosión pluvial, originada por la precipitación de agua líquida, es uno de los más importantes agentes disgregantes de las partículas de las superficies. Las gotas, al caer sobre la superficie, le transmiten su energía cinética (Figura 1.1), ocasionándose un efecto de cizallamiento que suelta y desplaza pequeñas partículas de la misma (Tricart 1981). Estas partículas se acumulan en los poros, taponándolos y favoreciendo que se forme una película acuosa sobre la que resbalará el agua de arroyada, que arrastrará a su vez muchas de las partículas arrancadas por el impacto de las gotas, lavando la superficie.



Figura 1.1. Fotografía del impacto de una gota de lluvia sobre un suelo. El choque produce la dispersión de fragmentos y agua alrededor de la zona de impacto. Fuente: Derpsch (2005).

Las aguas superficiales, de arroyada o escorrentía, dependiendo de su energía y de la cohesión de la roca, pueden producir alternativamente erosión o sedimentación. Las rocas con textura granular presentan menor resistencia a la erosión de las aguas superficiales que aquellas cuyas partículas presentan hábito laminar. Los materiales en suspensión, por otra parte, pueden contribuir a arrancar fragmentos de roca o de pigmento si este no está bien adherido a la superficie soporte.

Todos estos procesos pueden formar parte del sistema natural en el que se incluyen las representaciones rupestres, y aún puede haber otros agentes de cambio no incluidos y quizá no incluíbles en una descripción de las interacciones del ecosistema. Estos agentes producen impactos irregulares, que inducen una respuesta del sistema progresivamente amortiguada (Margalef 1982). Entre éstos pueden incluirse las agresiones antrópicas directas (vandalismo o destrucción por diversos motivos), a diferencia de las indirectas, las provenientes de los procesos inducidos por la actividad antrópica con potencial lesivo para la conservación, que podrían incluirse como constituyentes del sistema.

Independientemente de la naturaleza de los elementos del sistema y de sus relaciones, no todos los procesos actúan en todos los lugares y al mismo tiempo. Siguiendo a Margalef, podríamos decir que todo sistema natural ocupa un espacio, y por ello la interacción entre sus elementos es función de sus posiciones relativas (Margalef 1982). Es por esto que para comprender la verdadera dinámica de los sistemas cobra gran importancia el conocimiento de su componente espacial.

La mejor manera de evaluar las componentes espaciales de un sistema es representarlas gráficamente. Así como el único modo sintético de conocer la distribución espacial de los recursos existentes en un área, provincia o país determinado es representarlos sobre un mapa, el enfoque que más se adecua a la comprensión de las características espaciales de los elementos e interrelaciones que constituyen un sistema es el cartográfico. Pero, en esta suerte de mapa del sistema ¿qué es lo que debemos representar? Desde el

punto de vista estrictamente arqueológico, lo interesante es dejar constancia de los elementos culturales y de la información “natural” relevante para su comprensión. Así, de un determinado abrigo con representaciones pictóricas interesará el calco de los motivos, la situación geográfica del yacimiento, la relación del mismo con otros yacimientos o vías de comunicación, la cronología de los motivos, la composición de los pigmentos o cualquier otra característica capaz de aportar datos para su interpretación. Todas estas son características representables cartográficamente, entendiendo el mapa como descripción de una porción del espacio geográfico con sus características cualitativas y/o cuantitativas (Joly 1988). Está claro, sin embargo, que si además de la interpretación tenemos como objetivo la conservación y la protección tendremos que incluir la totalidad del sistema, o al menos la totalidad de los elementos que identifiquemos como relevantes en el mismo y que, además, seamos capaces de representar gráficamente.

En este sentido, es importante destacar que, aunque los avances técnicos de los últimos años ya hacen posible la documentación no invasiva, sigue siendo demasiado frecuente que diferentes equipos soliciten permisos para documentar repetidamente los mismos bienes. Esta repetición, independientemente del posible daño que puedan causar las técnicas de reproducción utilizadas, no hace sino poner en riesgo la conservación del bien, sobre todo de aquellos que se encuadran en sistemas naturales de equilibrio especialmente frágil. Por otra parte, la repetición de esfuerzos para cubrir el mismo objetivo sólo incrementa el costo total de los mismos, sin que esto sea garantía de su rentabilidad social o de la conservación del bien. Parece obvio que la acción más rentable es aquella que, con el mínimo de inversión (esfuerzo, probabilidad de deteriorar, o económica) produce mayores beneficios (sociales y científicos). Por ello, creemos que la documentación del arte rupestre debe ser, pues, integral, en el sentido de cubrir los dos objetivos de forma simultánea: aportar, por un lado, datos útiles para la investigación arqueológica *sensu strictu* y aportar, por otro, los datos necesarios para conocer el comportamiento del sistema y contribuir así a su conservación. Al mismo tiempo, las técnicas o sistemas empleados para documentar deben ser

respetuosos con la conservación del bien, asegurándose la integridad de paneles, rocas y pigmentos.

En este último sentido, el relativo a la inocuidad o no de las técnicas empleadas para la documentación, entendemos que cualquier contacto con las manifestaciones rupestres es potencialmente peligroso para la conservación de las mismas (Figura 1.2). Incluso, en algunos ambientes, la mera presencia humana puede deparar consecuencias indeseadas (Huppert *et al.* 1993, Moure 1993), como se ha contrastado en cavidades kársticas como Altamira (Sanchez-Moral *et al.* 2002) o Candamo (Hoyos *et al.* 1993, 1998).



Figura 1.2. El contacto directo con las manifestaciones rupestres, como en este caso, en el que se coloca una mano sobre los motivos rupestres para la comparación de tamaños puede tener como efectos indeseados, entre otros, la transferencia de sustancias o la difuminación de los motivos por erosión mecánica además de la contaminación microbiana por bacterias aportadas por la piel humana. Fuente: González y Alvarado (1993).



## **2. Los sistemas tradicionales de documentación: una revisión de sus ventajas y limitaciones**



## 2.1. Introducción

En la investigación del arte rupestre reviste gran importancia la obtención de unos calcos fiables de los elementos a investigar. Sólo mediante unos procedimientos de documentación que minimicen la subjetividad es posible la creación de una base que sirva de punto de partida para el establecimiento de analogías, paralelismos y explicaciones que no se vean distorsionadas por una documentación inadecuada.

Si coincidimos con Fossati y Arcà (1997) en que cualquier tipo de arte rupestre es un resto arqueológico, que debe ser tratado exactamente con las mismas cautelas que cualquier otro elemento del patrimonio arqueológico, deberemos estar de acuerdo en que una reproducción incompleta, del mismo modo que una excavación mal llevada, puede sufrir serias limitaciones en su valor científico.

Por otra parte, los paneles de arte parietal constituyen un legado precioso, a menudo el único testimonio de la actividad simbólica de unas sociedades con las que hemos perdido todo vínculo directo. Estas manifestaciones han, mal que bien en algunos casos, sobrevivido hasta nuestros días merced a gran cantidad de factores, en buena medida diferentes para cada panel, que han posibilitado el mantenimiento de un precario equilibrio de naturaleza dinámica. Se trata de un patrimonio a veces muy antiguo y casi siempre frágil, que como tal debemos transmitir a futuras generaciones de ciudadanos en las mejores condiciones posibles.

Se ha señalado que la mayoría de las amenazas para la conservación de las manifestaciones artísticas parietales proviene, de manera directa o indirecta, de la actividad antrópica, no pudiéndose excluir a los especialistas de estos factores de deterioro (Carrera Ramírez 2002). Por ello, a la hora de obtener información de estos testimonios, nuestro máximo cuidado debe recaer en hacerlo de manera que no afectemos ninguna de sus características intrínsecas ni pongamos en peligro su conservación (Bueno y Balbín 2006).

A lo largo de la historia de las investigaciones en arte rupestre se han desarrollado diversos sistemas para obtener imágenes fiables y reproducibles de los motivos representados en los distintos paneles. La mayoría de ellos tienen en común el haber contribuido al deterioro de los mismos ya que se trata de procedimientos de reproducción directa, es decir, que implican algún tipo de contacto con la superficie objeto de investigación. En las páginas que siguen intentamos ofrecer un breve panorama de los procedimientos de registro que, más o menos ampliamente, han venido utilizándose hasta nuestros días.

## 2.2. Los croquis o dibujos a mano alzada

Utilizado prácticamente desde el inicio de las investigaciones en arte parietal para la documentación de las manifestaciones que se presuponían más frágiles (Aujoulat 1987, Moneva Montero 1993), el dibujo a mano alzada ha sido un procedimiento ampliamente usado para la reproducción de los paneles (Moneva Montero 1993), a veces con el apoyo de una cuadrícula (Aujoulat 1987, Kolber 1997, Pohorecky y Jones 1966) (Figura 2.2.1), que facilita la reproducción del original a una escala determinada. Algunos autores, como el abate Breuil, han utilizado ampliamente la cámara clara (o cámara lúcida) para la reducción de escala (Aujoulat 1987).

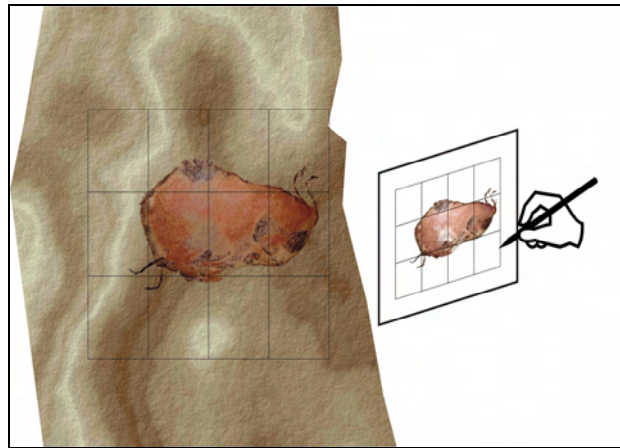


Figura 2.2.1. Dibujo a mano alzada con cuadrícula de referencia. La cuadrícula permite la reducción del motivo a una escala publicable. Fuente: elaboración propia.

Este útil, al implementar la proyección cónica para la obtención de imágenes virtuales, presenta problemas similares a los que más adelante comentaremos para la fotografía. Sin embargo, al usarse para la reproducción a escala de una superficie plana, (esto es, del dibujo o calco previamente obtenido por otros métodos) las distorsiones son prácticamente nulas (Figura 2.2.2).

El empleo directo de la cámara lúcida para elaborar dibujos a mano alzada no ha estado muy extendido. Henri Breuil lo empleó en los años cincuenta del siglo XX para la copia de algunas figuras de la Sala de los Toros y del Divertículo Axial de Lascaux (Aujoulat 1987).

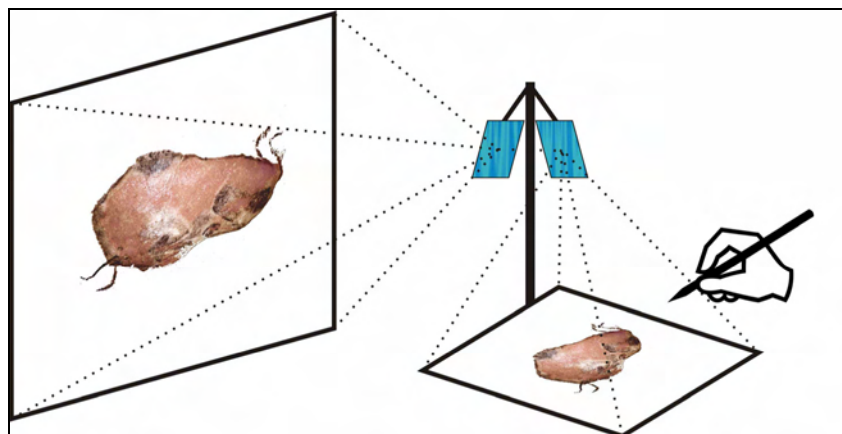


Figura 2.2.2. Uso de la cámara clara para la reducción de escala de un calco. Fuente: elaboración propia.

Para Beltrán (1981) la documentación por medio de dibujos a mano alzada no presenta ningún inconveniente para la conservación del arte parietal puesto que no implica ningún tipo de contacto físico con el mismo. Sin embargo, la copia a mano alzada, como puede fácilmente comprenderse, es el método de reproducción del arte rupestre que abre una puerta mayor a la subjetividad, que viene dada por la apreciación del investigador y la pericia del mismo al llevar a cabo el dibujo. Tradicionalmente, se ha intentado solventar este inconveniente recurriendo a dibujantes experimentados, alguno de los cuales ha creado verdaderas obras de arte de la transcripción de los motivos de arte parietal, como el mismo Breuil o dibujantes formados siguiendo su estela como Cabré, Alcalde del Río, Benítez Mellado o Campo Sobrino (Moneva Montero 1993). No obstante, a pesar de la calidad artística de estos dibujantes, algunos de ellos prehistoriadores, y a contar los otros con la constante supervisión de especialistas, no puede evitarse la presencia de la subjetividad. Un ejemplo de las cotas que ésta puede alcanzar cuando se utilizan métodos de registro que se prestan tanto a la creatividad del especialista puede apreciarse en la Figura 2.2.3. A todas luces parece exagerada la reconstrucción “ideal” del motivo a partir de los restos efectivamente conservados. Además, restos de pintura de menor entidad pueden no quedar reflejados en la documentación de los paneles.



Figura 2.2.3. Calco de un “arquero” de las cuevas de La Araña según Benítez Mellado y Hernández Pacheco (Hernández Pacheco 1924). Nótese la importancia de la reconstrucción efectuada a partir de unos restos bastante exiguos. Fuente: Moneva Montero (1993).

Una evaluación cuantitativa de la eficiencia en el registro de motivos de arte rupestre utilizando el dibujo a mano alzada puede encontrarse en Brayer *et al.* (1999). Una de las conclusiones más relevantes de este estudio, que evaluaba el grado de coincidencia entre sí y con reproducciones fotográficas de 18 dibujantes con distinta preparación previa, es que el dibujo a mano alzada es, en general, muy poco fiable, y que las manos expertas pueden no ser mejores que las principiantes a la hora de conseguir un registro fiel de los motivos.

A las limitaciones ya comentadas hay que añadir que resulta un procedimiento de registro generalmente lento, que requiere de muchas horas de trabajo de campo y posteriormente de gabinete (Pohorecky y Jones 1966). Por estas razones, aunque a priori no implique contacto físico con los paneles y no entrañe por tanto peligro alguno para la conservación de los mismos, debe descartarse este tipo de sistemas de reproducción como estándar para la documentación del arte rupestre, si bien debe reconocérsele un lugar a la hora de interpretar los resultados del registro. Los esquemas, dibujos a mano alzada o croquis de lectura deben entenderse como una práctica interpretativa, como la expresión gráfica de una hipótesis que habrá que constatar, pero nunca pueden, por las razones citadas más arriba, constituirse en el único registro de las manifestaciones de arte rupestre.

En la actualidad, el dibujo a mano alzada sigue teniendo defensores – como muestra, Kolber (1997) – que encuentran en este procedimiento ventajas que no aportan otros sistemas de registro. Así, se aduce como ventaja primordial la no invasividad del método, ya que no implica ningún tipo de contacto con la superficie a registrar (Brayer *et al.* 1999). Presenta además las ventajas adicionales de ser un procedimiento barato, que no suele requerir el uso de equipamiento adicional. Según estos mismos autores, permite resolver los problemas derivados de la poca visibilidad del trazo y aclarar el orden de las superposiciones, con un coste de tiempo menor que el empleado en los calcos directos, aunque los resultados son más inseguros.

Un resumen de las ventajas e inconvenientes del uso de estos métodos de documentación se ofrece en el Cuadro 2.2.1.

Dibujo a mano alzada	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No implica contacto físico con los motivos</li> <li>• Barato</li> <li>• No requiere equipamiento adicional</li> <li>• Resuelve problemas de visibilidad del trazo y aclara el orden de las superposiciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran subjetividad potencial</li> <li>• Fidelidad cuestionable</li> <li>• Procedimiento de registro lento: gran cantidad de horas de trabajo de campo y posteriores de gabinete</li> </ul>

Cuadro 2.2.1. Resumen de ventajas e inconvenientes del método de registro de motivos de arte rupestre mediante dibujo a mano alzada. Fuente: elaboración propia.



### 2.3. El calco directo

El principal sistema seguido hasta nuestros días según Montero Ruiz *et al.* (1998) es el calco directo sobre el panel. Consiste generalmente en el perfilado sobre un soporte transparente en contacto con el dibujo (Figura 2.3.1). La variedad en cuanto a materiales empleados es muy grande: papel de calco, de dibujo, cartulina, simples hojas de apuntes e incluso de libros, a veces por ambas caras (Moneva Montero 1993); papel semitransparente resistente a la grasa (Vinnicombe 1966); celofán magnetizado por frotación con un trozo de piel para una perfecta adherencia a la superficie y dibujo con lápices de punta de fieltro (Aujoulat 1987, Pohorecky y Jones 1966); celofán como soporte y tinta china o acuarela mezcladas con jabón para el dibujo; película fotográfica transparente y tinta china; o láminas de polietileno y pintura más un agente humedecedor (Vinnicombe 1966). Esta lista no pretende ser exhaustiva ya que, a causa de la falta de estandarización que en general se observa en los métodos de registro (Seoane Veiga 2005a), casi cada equipo de investigación ha utilizado los materiales que les han parecido más apropiados o fáciles de obtener en cada momento.



Figura 2.3.1. Proceso de elaboración de un calco directo con lápiz graso sobre papel de celofán. Fuente: Aujoulat (1987).

Quizá el procedimiento potencialmente más lesivo para las pinturas sea la utilización de papel de arroz humedecido y extendido con un rodillo de esponja sobre la pintura y el calcado directo sobre este papel utilizando tiza (Wainwright 1990, Pohorecky y Jones 1966). La ventaja de este procedimiento está en la durabilidad del calco (debido a la durabilidad misma del soporte) y en la posibilidad de añadirse anotaciones adicionales directamente sobre el mismo (Wainwright 1990). Como inconvenientes, se han señalado la necesaria pericia para aplicar el método, el tiempo necesario para la anotación de detalles difícilmente perceptibles a través del papel, su alto coste económico y su falta de idoneidad para trabajar en zonas desérticas debido a la falta de agua (Pohorecky y Jones 1966), a los que hay que añadir los más que posibles efectos del humedecimiento de pintura y soporte, probablemente los más adversos que este método de registro pueda tener.

A la hora de realizar calcos directos, cuando se ha tratado de motivos poco visibles, se ha llegado a extremos como el perfilado a lápiz directamente sobre las pinturas que se hizo en el barranco de la Valltorta (Montero Ruiz *et al.* 1998).

Otra cuestión importante, en relación con los calcos directos, es la de su adecuación a la realidad. Ya en los años 20 del siglo pasado, Hernández Pacheco criticaba la subjetividad que se producía al pasar a papel los calcos en el laboratorio sin tener presente el original. Para contrarrestar este factor proponía el paso inmediato del calco a papel, con la figura delante, para captar todos los detalles (Hernández Pacheco 1924). El abate Breuil, en su documentación de las pinturas de Font de Gaume, recurrió por su parte a la fotografía para el control de los calcos obtenidos por métodos directos (Aujoulat 1987). El sistema, sin embargo, presenta los mismos inconvenientes que el dibujo a mano alzada con respecto a la objetividad de la tarea.

El calco directo sobre papel transparente es bastante más peligroso para la integridad de las pinturas que el dibujo a mano alzada, ya que puede producirse un deterioro de tipo mecánico de las mismas, erosionándose o

arrancándose fragmentos de la capa pictórica o de la roca soporte (Figura 2.3.2).



Figura 2.3.2. Arañazos producidos en un ortostato del dolmen de Mota Grande, Vereia (Ourense) debidos a la realización de un calco por procedimientos directos. Fuente: Carrera Ramírez (2006).

La concentración de humedad en la cara interior del plástico o la práctica de sujetar éste a la pared con ayuda de cinta adhesiva o esparadrapo han sido señalados como peligrosos para la conservación de las pinturas rupestres y su roca soporte (Beltrán 1981). Para evitar el contacto físico, se han desarrollado procedimientos que sujetan el papel transparente a corta distancia de la pintura mediante bastidores (Sanchidrián 1987, Aujoulat 1987, Montero Ruiz *et al.* 1998), si bien estos procedimientos son complicados de seguir, dependiendo del relieve del soporte (Montero Ruiz *et al.* 1998). Cuando se utiliza el método del papel de arroz humedecido hay que añadir a la posibilidad de deterioro mecánico producido por el calcado, el humedecimiento mismo y la posibilidad de adhesión al papel de arroz de parte de la capa pictórica.

Para evitar el contacto directo con los paneles pictóricos, algunos autores han elaborado los calcos a partir de la proyección de fotografías (como Almagro Basch y Almagro Gorbea 1968), aunque los calcos obtenidos de esta manera han sido en general menos valorados que los realizados mediante procedimientos directos debido a la gran cantidad de discrepancias entre los

misimos (Schoonraad 1968) (Figura 2.3.3). Este mismo autor también señala que, a partir de una fotografía, es a veces muy difícil deducir qué ha sido pintado y qué tiene la pigmentación natural de la roca, o, en caso de superposiciones, cuál de las pinturas es más antigua y cuál más reciente.

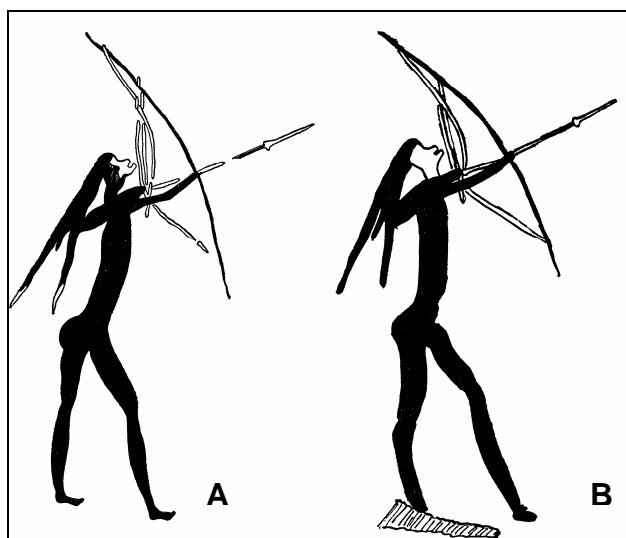


Figura 2.3.3. Discrepancias entre calcos obtenidos por procedimientos directos (A) y realizados a partir de fotografías del motivo pictórico (B), según Schoonraad (1968).

A día de hoy los partidarios del calco directo son muchos (Arcà 2000, Fossati 1997, Fossati y Arcà 1997, Seoane Veiga 2005a), unos porque consideran que la aplicación de nuevas tecnologías para el registro, tales como la fotogrametría o el escaneado mediante láser, necesitan un alto grado de especialización para su correcto manejo, además de exigir un gran coste económico y de trabajo (Seoane Veiga 2005a), otros (Arcà 2000, Fossati 1997, Fossati y Arcà 1997) porque consideran que los resultados son más fiables y no lo consideran un método que pueda contribuir al deterioro de los paneles. Algún defensor del dibujo a mano alzada, sin embargo, ha señalado con respecto al calco directo que las hojas de plástico tienen tendencia a deslizarse, que las manos y el plástico proyectan sombras que dificultan la visibilidad, que a menudo las marcas de rotulador son más gruesas que el grabado y que la cinta adhesiva suele dejar residuos en la superficie de la roca (Kolber 1997). La fiabilidad del registro con este tipo de métodos, por otra parte, queda puesta en duda si nos fijamos en las diferencias apreciables en la Figura 2.3.4, extraída de Fossati (1997). Como puede observarse, a pesar de la intención de reflejar en el calco

las grietas del soporte, sólo algunas de ellas han quedado registradas y no todas ellas de manera completa. Por otra parte, aunque las relaciones geométricas parecen, a primera vista similares, no parece que la documentación haya sido todo lo exhaustiva que debiera.

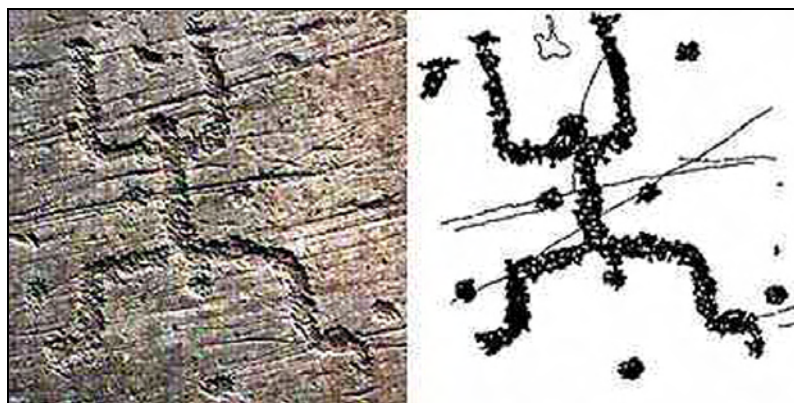


Figura 2.3.4. Fotografía de un grabado rupestre y calco directo del mismo. Fuente: Fossati (1997).

Por otra parte, la subjetividad de los medios de registro tradicionales ha sido recientemente puesta de manifiesto por Diaz-Andreu *et al.* (2006).

La práctica de humedecer las pinturas para facilitar su observación, ampliamente extendida prácticamente hasta la actualidad (Montero Ruiz *et al.* 1998), abre la puerta al deterioro de las mismas. En general se considera perjudicial todo contacto con la pintura y el soporte (Beltrán 1981, Montero Ruiz *et al.* 1998), sin embargo, el humedecimiento de éstos ha sido habitual para la elaboración de calcos con diversos métodos (fotografía convencional, pero también con el calco directo y con el dibujo a mano alzada), en algunos casos, no sólo humedeciendo sino empapando bien la roca (Moneva Montero 1993).

Esta práctica debe desecharse debido a los problemas que acarrea para la conservación de las pinturas. Además del peligro de desprender el pigmento, lavándolo de la roca soporte, el aporte de humedad promueve cambios físico-químicos en la superficie pintada (Mawk y Rowe 1998), especialmente en zonas áridas y contextos calizos (Pohorecky y Jones 1967), pero también en otros tipos de roca, como las areniscas silíceas de los alrededores de la antigua laguna de la Janda, Cádiz (Hoyos *et al.* 1996), que pueden influir



negativamente en su conservación. Por otra parte, el aporte de humedad favorece la formación de biopelículas sobre el soporte y la pintura, con el consiguiente peligro de biodeterioro de la misma. Sin embargo, en alguna publicación relativamente reciente (Wainwright 1990), aunque en general se recomienda la utilización de luz polarizada con nícoles cruzados como sustitutivo del humedecimiento para el incremento del contraste y saturación de las figuras al documentarlas fotográficamente, puede leerse literalmente que “para muchas pinturas, particularmente aquellas de Canadá ya expuestas a la lluvia o a salpicaduras de olas, el humedecimiento no puede ser considerado peligroso” (*“For many rock paintings, particularly those in Canada already exposed to rain or wave splash, wetting cannot be regarded as harmful.”*). A pesar de este comentario, poco después el autor reconoce que se ha producido deterioro “en otras partes del mundo” en yacimientos con arte rupestre como resultado del repetido humedecimiento (Wainwright 1990: 60).

Ventajas e inconvenientes generales de los procedimientos de calco directo se resumen el cuadro 2.3.1.

Calco directo	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barato</li> <li>• No requiere formación adicional ni equipos complicados</li> <li>• Resuelve problemas de visibilidad del trazo y aclara el orden de las superposiciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencialmente subjetivo</li> <li>• Fidelidad cuestionable</li> <li>• Procedimiento de registro lento: gran cantidad de horas de trabajo de campo y posteriores de gabinete</li> <li>• Método invasivo: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ posibles deterioros mecánicos,</li> <li>▪ condensaciones en la cara interna del soporte plástico,</li> <li>▪ transferencia de sustancias adherentes a la roca soporte</li> </ul> </li> </ul>

Cuadro 2.3.1. Resumen de ventajas e inconvenientes del registro de motivos de arte rupestre mediante métodos de calco directo. Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Calcos por frotación

Para documentar gráficamente los grabados, además del dibujo a mano alzada y el calco efectuado del mismo modo que en el caso de la pintura, se han utilizado otros métodos. Quizá el más extensamente empleado hasta la actualidad ha sido el *frottage* directo sobre la roca, causa de deterioros mecánicos cuando el soporte está alterado o es una roca blanda (areniscas, arcillas).

El *frottage*, *rubbing* o calco de petroglifos por frotación (Figura 2.4.1) aplicando lápiz, carboncillo o papel carbón a un papel situado directamente sobre el motivo, ha sido, tras el dibujo a mano alzada, la manera más usual, sobre todo en los ámbitos nórdico y anglosajón, de elaborar calcos de grabados rupestres.



Figura 2.4.1. Aplicación de la técnica del *frottage* a un panel grabado en Bohuslän, Suecia. Fuente: Bertilsson (2001).

Una variación de este procedimiento es la utilizada por Mallery y Creed (Wainwright 1990) para documentar grabados rupestres en el Parque Nacional Kejimikujik, en Nueva Escocia (Canadá). Utilizando un lápiz púrpura de anilina para perfilar los grabados, se les aplicó después tinta soluble en agua, presionando sobre ella una hoja de papel humedecido, obteniendo al separar la

hoja del grabado una impresión en negativo (Wainwright 1990). El procedimiento humedece el soporte y le aplica pigmentos extraños al mismo. La anilina, además de tóxica por contacto e inhalación, puede adherirse al soporte, así como la tinta. Además, la anilina es degradada por microorganismos, con lo que puede favorecerse el crecimiento de éstos sobre los grabados (Bak y Widdel 1986, Vázquez Rodríguez y Beltrán Hernández 2004).

Muy habitual en algunos lugares es el pintado de los motivos previo al *frottage*. El método propuesto como estándar por el Museo y Centro de Arte Rupestre de Tanum (Suecia) implica el relleno del interior de los motivos con tiza, y cuando estos son difíciles de distinguir, el dibujo además de los contornos (Tanums Hällristningsmuseum s.f.). La misma publicación propone el pintado de los motivos para proceder a su registro fotográfico, utilizándose como tinta polisacáridos ( $C_6H_{10}O_5$ ), tiza ( $CaCO_3$ ) o cuarzo ( $SiO_2$ ) suspendidos en agua. Asimismo, se experimenta con tintes semipermanentes que duren varios días y resistan el lavado de la lluvia. Añadir materia orgánica, como es el caso de los polisacáridos, a los grabados, no puede contribuir más que al aumento de la flora bacteriana y a la creación de biopelículas sobre los mismos.

La pintura de los grabados se ha propuesto recientemente como una manera de facilitar la realización de calcos directos tradicionales, aumentando así el contraste superficie grabada/soporte pétreo (Seoane Veiga 2005a). Para ello, la autora recomienda el uso de dos clases de pintura: pigmentos naturales inorgánicos (sombra natural y ocre) y pinturas pastel (pigmento con creta precipitada y goma de tragacanto). Desde nuestro punto de vista, además de añadir nutrientes que favorezcan los procesos de biodeterioro de la superficie grabada, se corre el peligro de abrir la puerta a la subjetividad, al documentarse sólo lo pintado. Al mismo tiempo, todos estos procedimientos que añaden pigmento a las superficies grabadas en cierto modo tergiversan los valores originarios de los grabados, o al menos los valores estéticos asociados a este tipo de manifestaciones culturales (Figura 2.4.2). Una crítica furibunda contra la utilización de colorantes, tiza u otros productos químicos ha sido planteada por Bednarik (1988, 2001). Este artículo, que puso fin a una polémica sobre el



uso de tiza para resaltar los petroglifos publicada en varios números de *La Pintura*, originó un cambio en el código deontológico de la *American Rock Art Research Organization*.



Figura 2.4.2. Petroglifos rellenos de color rojo para una mejor visualización. Santa María de Oia (Pontevedra). Fuente: Novoa (1995).

Un inconveniente añadido de estos métodos de registro es que implican la previa limpieza del panel, ya que todos los elementos presentes (suciedad, líquenes...) aparecerán en el calco (Seoane Veiga 2005a), aumentándose así la posibilidad de deterioros mecánicos y/o químicos. Asimismo, se ha puesto de manifiesto la lesividad del *frottage* cuando se emplean papeles ácidos, del tipo de los utilizados en la prensa diaria, para obtener los calcos (Díaz-Andreu *et al.* 2006). Como alternativa, se ha propuesto la documentación basada exclusivamente en el uso de métodos fotográficos, como manera de evitar la realización de calcos directos o la aplicación de sustancias químicas a los soportes (Bueno *et al.* 1998, 1999, Bueno y Balbín 2003, 2006).

Una variación de este tipo de sistemas para la reproducción de grabados es el descrito por Hedden (1958), y reinventado en los noventa bajo el nombre de “tactigrafía” (Dubal *et al.* 1993, Dubal 1995). La “impresión superficial”, o *surface printing* consiste básicamente en colocar tela o papel directamente sobre el grabado para después extender tinta con un rodillo de esponja, obteniéndose una impresión en positivo. El sistema es, pues, muy similar al

*frottage*, con el agravante de necesitar el humedecimiento del papel y la roca soporte cuando se trata de realizar “tactigramas”. La mayor suavidad de los materiales empleados, sin embargo, reduce el deterioro de tipo mecánico.

Calco por frotación	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barato</li> <li>• No requiere formación adicional ni equipos complicados</li> <li>• Relativamente rápido, ya que no requiere un tiempo prolongado en el trabajo de campo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencialmente subjetivo</li> <li>• Fidelidad cuestionable</li> <li>• Método invasivo: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ posibles deterioros mecánicos</li> <li>▪ posibles deterioros químicos</li> <li>▪ deterioro estético cuando implica la adición de pigmentos</li> <li>▪ favorecimiento de procesos de biodeterioro</li> </ul> </li> </ul>

Cuadro 2.4.1. Resumen de ventajas e inconvenientes del registro de motivos de arte rupestre mediante métodos de calco directo por frotación. Fuente: elaboración propia.

## 2.5. Obtención de moldes

La realización de moldes ha sido uno de los procedimientos utilizados para el registro de grabados rupestres desde los primeros tiempos de la investigación en la materia, una época en la que era fundamental demostrar la autenticidad y antigüedad del mismo y por ello el interés residía en la elaboración de facsímiles, que reprodujeran los testimonios de arte parietal de la manera más fiel posible, más que en la simple documentación de formas y motivos (Aujoulat 1987).

Uno de los primeros investigadores que utilizaron procedimientos de molde fue E. Rivière, que aplicó el método desarrollado por Lottin de Laval en 1835 para la reproducción de grabados o bajorrelieves, la lotinoplastia. El procedimiento consiste en la aplicación de hojas de papel preencoladas directamente sobre el motivo. Las hojas se humedecían para que penetraran en los intersticios, incisiones antrópicas y fracturas naturales de la roca y al secar se retiraban, obteniéndose un molde del panel. Este procedimiento resultó muy problemático a la hora de aplicarlo en cuevas, ya que la alta humedad relativa de las mismas hacía muy difícil el secado del papel, por lo que la tarea de retirar las hojas se convertía en muy delicada. Para intentar evitar la adherencia del soporte a las hojas, se aplicó un aceite mineral como desmoldante que a la postre acabó fijando las impurezas contenidas en el aire (Figura 2.5.1), contribuyendo al deterioro de los paneles (Aujoulat 1987).

Un procedimiento similar ha sido ampliamente utilizado por los epigrafistas (Dobbins 1982), consistente en humedecer papel secante y apelmazarlo sobre el grabado hasta conseguir obtener un molde del mismo. La mayor cohesión de los soportes epigráficos ha hecho innecesaria la necesidad de aplicar productos que impidan la adherencia de papel y soporte.



Figura 2.5.1. Efectos de la documentación mediante lotinoplastia llevada a cabo por Émile Rivière en La Mouthe a finales del siglo XIX. La adherencia de partículas a los restos de aceite mineral ha provocado la aparición del patrón reticular que puede observarse sobre el motivo grabado. Fuente: Aujoulat (1987).

En España también parecen haberse realizado moldes en los primeros tiempos (Moneva Montero 1993), si bien se desconoce el procedimiento utilizado para obtenerlos. El acabado final, en positivo, parece ser similar al de la reproducción del bóvido de La Mouthe que se presentó en la Exposición Universal de París de 1900, realizado en yeso y arcilla a partir de moldes obtenidos por lotinoplastia.

El uso conjunto de la fotografía, el molde y el calco fue el método utilizado por L. Pales para el registro del arte mobiliario magdalenense de Lussac-les-Châteaux. En este caso se trata de impresiones de las placas sobre plastilina y fotografía de la huella dejada (Aujoulat 1987). Se facilitaba así la reproducción de todos los rasgos grabados, incluso los más imbricados y sutiles.

A pesar de la mala prensa que tiene la elaboración de moldes directos como procedimiento de registro, en la actualidad, desde el campo de la restauración, se ha propuesto la elaboración de moldes como un método válido de reproducción de grabados rupestre (López y Pereira s.f., Pereira y López 2003). Para estos autores, la elaboración de moldes es perfectamente

respetuosa con la conservación del arte parietal y los efectos perversos de este sistema se deben más a la aplicación de procedimientos no adecuados por no especialistas que al potencial lesivo del mismo. Así, afirman que la utilización de procedimientos y materiales bien elegidos, y la pericia técnica del especialista, permiten elaborar moldes respetuosos con los paneles. Entre el catálogo de materiales que proponen para la elaboración de moldes destaca la arcilla, de la que señalan que su impacto "... es prácticamente nulo, y no puede en ningún caso compararse con las agresiones cotidianas de la atmósfera, la contaminación o los actos vandálicos. A priori no hemos encontrado ningún indicio de posibles agresiones o alteraciones futuras, ya que la arcilla es un material que no interactúa químicamente con la mayoría de las rocas estando incluso presente en muchas de ellas como constituyente o producto de alteración, tampoco forma cristales que puedan producir criptoeflorescencias y los restos se pueden eliminar rápidamente por disolución, asimismo tampoco interacciona con posibles colonias de líquenes o algas asentados en la superficie" (López Fernández y Pereira Uzal s.f.: s.p.). La adición de arcillas, sin embargo, no es tan inocua como quieren hacer parecer estos autores. Además de modificar el pH del medio, la arcilla interactúa con las rocas, ya que forma enlaces por puentes de hidrógeno con otros compuestos polares; presenta gran capacidad de absorción de agua, en muchos casos aumentando de volumen considerablemente; presenta también gran capacidad de absorción de grupos funcionales de compuestos orgánicos y no es soluble. Además, el biofilm puede englobar las arcillas favoreciendo su nutrición y por otra parte, la arcilla por su elevada superficie específica permite la adsorción de bacterias y hongos. Por último, proporciona substrato para que puedan desarrollarse briofitas y plantas superiores.

Otros materiales propuestos son los silicauchos, el látex o las siliconas. Estos productos, si bien potencialmente peligrosos, según estos autores, pueden ser utilizados empleando las sustancias desmoldantes adecuadas.

Para evitar los efectos negativos del uso de moldes de silicona (alteraciones cromáticas, hidrofugación de la superficie, deterioro mecánico de motivo y/o soporte), mencionan el agua, aplicada directamente o por medio de agentes

tixotrópicos o gelificantes (carboximetilcelulosa, agar-agar o gelatina), o bien el empapelado mediante tejidos especiales y un adhesivo (colas o gelatinas animales).

Ya hemos comentado más arriba lo que puede implicar la adición de materia orgánica: respecto a la carboximetilcelulosa, los mismos autores reconocen que se insolubiliza en presencia de altas concentraciones de iones metálicos (algo que no es nada extraño en muchas rocas), permaneciendo allí, por tanto, como fuente de carbono disponible para favorecer el crecimiento de microorganismos. El agar-agar, por su parte, suele utilizarse como soporte de los medios de cultivo en microbiología: toda explicación añadida está aquí de más. La gelatina procede de la hidrólisis parcial del colágeno animal: de nuevo una fuente adecuada de carbono y nitrógeno para microorganismos. Independientemente del enriquecimiento en nutrientes del medio propiciado por la elaboración de moldes, nos encontraremos con la intensificación de la acción del agua, infiltrada en los intersticios de la roca, que puede dar lugar a procesos de gelifracción si se alcanzan los 4°C o menos, algo no infrecuente en la mayoría de las localizaciones en las que se conocen grabados rupestres.

El Cuadro 2.5.1 resume ventajas e inconvenientes de los procedimientos de reproducción de grabados mediante moldeo directo.

Moldes directos	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refleja relieve y microtopografía del grabado</li> <li>• Resultados fiables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere formación específica</li> <li>• Caro</li> <li>• Método invasivo: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ posibles deterioros mecánicos</li> <li>▪ posibles deterioros químicos</li> <li>▪ deterioro estético debido a la acción de las sustancias desmoldantes o de los componentes del molde</li> <li>▪ favorecimiento de procesos de biodeterioro</li> </ul> </li> </ul>

Cuadro 2.5.1. Resumen de ventajas e inconvenientes de la reproducción de grabados rupestres mediante moldeo directo. Fuente: elaboración propia.



## 2.6. Fotografía analógica

La documentación de los paneles con arte rupestre mediante técnicas fotográficas constituyó, desde el principio de su utilización, un gran avance porque permitía el registro tanto de los motivos como de las peculiaridades del soporte de manera simultánea, rápida y sin necesidad aparente de tener contacto físico con los paneles. Sin embargo, tardó en aceptarse como método fiable (Montero Ruiz *et al.* 1998), sobre todo porque la baja calidad de las fotografías y la complejidad de ejecución de las mismas en los primeros tiempos hacía difícil obtener resultados fidedignos (Aujoulat 1987, Moneva Montero 1993). Aún hoy día algunos investigadores prefieren los procedimientos directos de reproducción (Arcà 2000, Fossati 1997, Fossati y Arcà 1997, Seoane Veiga 2005a, b, Rey y Soto 1996).

La fotografía analógica, o tradicional, se basa en aplicar el principio de la cámara oscura a emulsiones de material fotosensible (sales de plata), que registran la imagen virtual obtenida en una imagen latente. Esta imagen se fijará mediante los procesos químicos de revelado y fijado.

Aunque la fotografía convencional ha constituido un paso adelante en cuanto a la documentación del arte rupestre, los resultados obtenidos por estos métodos adolecen de algunos defectos que son difíciles de subsanar. El principal es el de las deformaciones geométricas que se producen al fotografiarse una superficie.

Las imágenes fotográficas, similarmente a las percibidas por el ojo humano, se forman mediante una proyección cónica, lo que supone que todas las visuales de esta perspectiva pasan por un único punto, el centro óptico (Figura 2.6.1). Las deformaciones son independientes de la distancia focal del objetivo, y se deben a la distancia que separa el objeto del plano en el que se forma la imagen (Aujoulat 1987), produciéndose fenómenos de anamorfosis que modifican las relaciones geométricas del objeto real en la imagen registrada. En presencia de relieve las fotografías pierden toda capacidad métrica puesto

que, las áreas más cercanas al objetivo, junto a las más lejanas, aparecen reflejadas sobre un mismo plano.

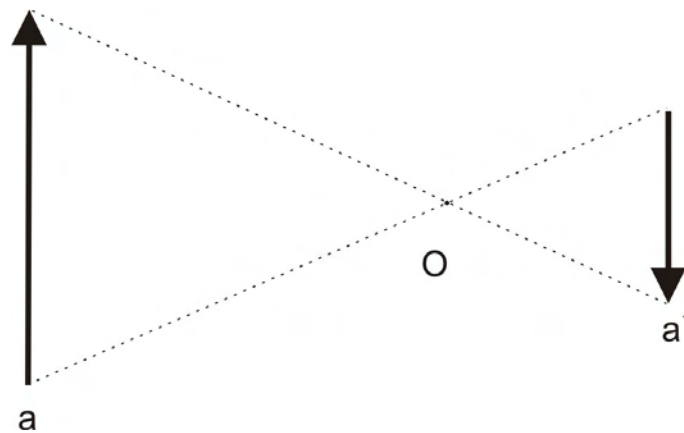


Figura 2.6.1. Esquema de la proyección cónica. (a) objeto real; (a') imagen; (O) centro óptico. Fuente: elaboración propia.

Relacionadas con la morfología y la calidad de las lentes encontramos unas distorsiones particulares que afectan a la calidad de la fotografía, estas distorsiones son las conocidas como aberraciones, y pueden ser de distintos tipos (Monje Arenas 1992):

#### *Aberración cromática*

La refracción está condicionada por la longitud de onda de la luz incidente. Como cada longitud de onda se refracta con distinto ángulo, las imágenes correspondientes a las distintas longitudes de onda se forman a distintas distancias del centro óptico. Esto se traduce en una fina banda irisada que contornea los objetos puesto que cada color forma una imagen de tamaño diferente. Los objetivos acromáticos corrigen esta distorsión entre las bandas que van del azul al amarillo. Los objetivos apocromáticos hacen converger la imagen desde el azul al rojo, eliminando totalmente esta aberración.

#### *Aberración esférica*

Debido a la curvatura de las lentes, los rayos que inciden más cerca de los bordes convergen más cerca del objetivo que las que llegan al eje principal. La imagen es, así, poco nítida. Para corregir esta aberración se han desarrollado los objetivos asféricos.



### *Aberración de astigmatismo*

Cuando resulta imposible enfocar con nitidez simultáneamente los objetos verticales y horizontales, incluso estando ambos en el mismo plano. La manera de corregirla es mediante objetivos anastigmáticos.

### *Aberración de coma*

Cuando los rayos que convergen oblicuamente lo hacen en el plano focal, pero no en el lugar que les corresponde. El resultado es el alargamiento de las superficies redondeadas próximas a los bordes de la imagen. Los objetivos que corrigen estas aberraciones y las esféricas son los aplanáticos.

### *Aberración de curvatura de campo*

Debida a que el plano focal de un objetivo forma en realidad una superficie cóncava. Ya que la película se coloca totalmente plana, es difícil enfocar a la vez y exactamente el centro y los bordes de la imagen.

### *Aberración de distorsión*

Los objetivos más sencillos y los de amplio ángulo visual deforman las líneas rectas vertical y horizontalmente, produciéndose lo que se conoce como deformaciones “en barrilete” y “en cojín” (Figura 2.6.2), dependiendo de que el centro óptico del sistema se encuentre por delante o por detrás del diafragma del objetivo fotográfico (Aujoulat 1987).

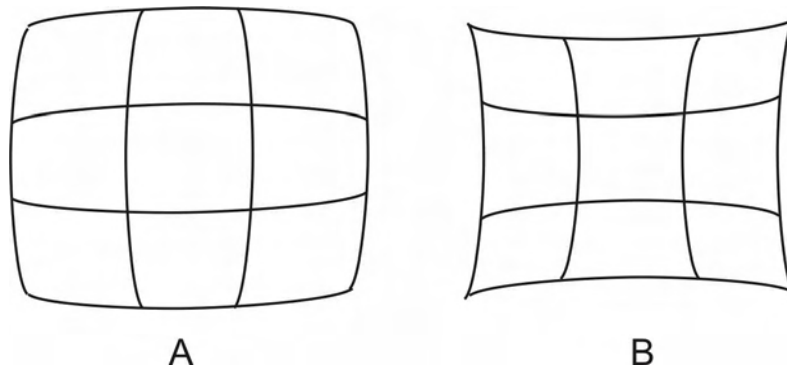


Figura 2.6.2. Deformaciones de la imagen cuando (A) el centro óptico está delante del diafragma del objetivo y (B) cuando está detrás. A partir de Aujoulat (1987).

Las aberraciones cromática y esférica afectan a toda la imagen por igual. El resto de las aberraciones sólo afecta a las zonas de la imagen más próximas a bordes y esquinas.

Otras deformaciones de la imagen con respecto a la realidad se deben al carácter de perspectiva que tienen las fotografías. Así, el ángulo que la cámara fotográfica tome con respecto al objeto fotografiado será determinante a la hora de producir unas deformaciones geométricas mayores o menores. Las menores deformaciones, lógicamente, se producen cuando la cámara se coloca ortogonalmente con respecto a la superficie a fotografiar. Sin embargo, incluso cuando la cámara fotográfica se sitúa en posición normal a los paneles pictóricos, no puede evitarse la deformación de las zonas de la imagen en posición periférica con respecto al centro.

Para corregir estas deformaciones se han utilizado varios procedimientos que, por lo general, persiguen la construcción de una representación conforme mediante la elaboración de mosaicos a partir de distintas imágenes. Así, por ejemplo, Willcox y Pager (Willcox 1967), para el registro de las pinturas de la garganta de Ndedema (Sudáfrica), idearon un complicado proceso que les permitiera eliminar las distorsiones fotográficas. Para ello, dividieron los paneles en cuadrados exactos mediante marcas adheridas a la pared añadiendo, además, una escala. Tras positivizar las fotografías a escala 1:1, las montaban corrigiendo las distorsiones. De nuevo ante las pinturas, con el fotomontaje desplegado, comprobaban que todo había sido correctamente registrado. El último paso consistía en una nueva fotografía, esta vez del montaje (Willcox 1967). Para la publicación, Pager superpuso los calcos a las fotografías así elaboradas, incrementando el contraste motivo/soporte, corrigiendo las deformaciones y preservando un cierto realismo en las representaciones (Garth Sampson 1973). La superposición de calcos a fotografías es frecuente desde los primeros tiempos para facilitar la lectura de las mismas (Moneva Montero 1993) aunque se deje sin resolver el problema de las deformaciones en la mayoría de los casos.

Por su parte, Gil Carlés, durante la realización del Corpus de Arte Rupestre Levantino, cuando no existían calcos de los paneles o estos eran inexactos, fotografiaba cuadros de unos 50 x 50 cm superpuestos parcialmente para conseguir un mosaico completo de la pared pintada. Las distorsiones debidas al relieve de la roca se superaban con la inclusión de una línea horizontal y la medición de figuras significativas en la composición. Se fotografiaban las figuras comenzando por la más pequeña, finalizando con una fotografía de la cuadrícula (Cruz Berrocal *et al.* 2005).

Un enfoque análogo es el utilizado en la realización de los nuevos calcos de la Cova dels Cavalls en el Barranco de la Valltorta (Domingo Sanz y López Montalvo 2003, López Montalvo y Domingo Sanz 2005), persiguiéndose en este caso una representación ortogonal de los paneles pictóricos. El procedimiento seguido consistió en la realización de un mosaico de diferentes imágenes obtenidas mediante una cámara emplazada en posición normal a cada uno de los motivos. Así, aunque se distorsionan las distancias entre los mismos, éstos son fácilmente identificados, posibilitándose la interpretación de las agrupaciones (López Montalvo y Domingo Sanz 2005).

Como estas mismas autoras han mostrado, las opciones de restitución para los paneles se reducen básicamente a dos: Seleccionar un punto de vista único para la totalidad del conjunto, o seleccionar una visión frontal y perpendicular a cada uno de los motivos, agrupando en un único calco puntos de vista dispares por medio del mosaico de imágenes.

En su trabajo, las correcciones geométricas se llevan a cabo mediante triangulación, lo que supone un engorroso trabajo de cálculo de distancias y constante contrastación con las medidas del panel real. Parece, pues, que los procedimientos más adecuados para corregir las distorsiones geométricas de las imágenes fotográficas son los basados en la fotogrametría, que hoy día ha conseguido unos costes lo suficientemente bajos como para que se la pueda contemplar como una técnica útil para estos fines.

La fotografía convencional de los grabados presenta, si cabe, más problemas de distorsión geométrica que la de las pinturas, ya que a menudo para fotografiarlos hay que hacerlo con luz rasante o con la cámara inclinada, produciéndose deformaciones importantes que dependen no sólo de la distancia al objeto sino del ángulo que forma la cámara con respecto a la superficie a fotografiar y del ángulo de incidencia de la luz utilizada. Análogamente a lo comentado para las pinturas, la distorsión geométrica puede ser corregida por medios fotogramétricos.

Otro de los problemas derivados del uso de la fotografía convencional radica en el registro del color. Las películas en color han demostrado ser poco estables, ya que con el paso del tiempo tienden a degradarse y alterar los colores registrados originalmente. Por otra parte, las condiciones lumínicas en el momento de la toma de la imagen, así como el proceso de revelado pueden producir cambios de tono que pueden conducir a que el color registrado sea muy diferente del color real del panel.

Los factores de subjetividad en el registro fotográfico del arte rupestre son bastante abundantes aunque a priori pudiera parecer lo contrario. Así, numerosos factores se combinan en el momento de la captación de la imagen: tipo, calidad y dirección de la iluminación, humedad relativa del aire, materia en suspensión como polvo, humo o niebla; factores relacionados con el equipo, como el tipo de lente, el tipo de película, tiempo de exposición y apertura de diafragma utilizada, etc. Una vez expuesta la fotografía, hay posibles factores de subjetividad debidos a los cambios que pueda sufrir la película antes de ser revelada (tales como deterioro debidos a la temperatura o humedad), así como variaciones atribuibles al proceso de revelado del negativo o las copias (Bednarik y Seshadri 1995).

Tradicionalmente, para resaltar los grabados al ser documentados fotográficamente, se han marcado los surcos con tiza o carbón (Moneva Montero 1993). El uso de tiza ha sido criticado por Swartz Jr. (1963), debido a su permanencia, tendencia a desfigurar los grabados hechos en superficies blandas, sus propiedades no reflectantes de la luz y la incapacidad para

mostrar distintos anchos de línea. Alternativamente, Swartz Jr. (1963) proponía la aplicación a pincel, directamente sobre las líneas grabadas, de pequeñas cantidades de polvo de aluminio mezcladas con agua. Una vez hecha la fotografía, el polvo de aluminio podía retirarse lavando con agua o limpiando con una brocha una vez seco.

Los primeros calcos elaborados a partir de fotografías, como se vio en el apartado 2.3, se elaboraron a partir de la proyección de las mismas sobre el papel y el dibujo de los contornos. Las limitaciones de este tipo de calcos ya se han comentado y no nos extenderemos más sobre ellas. Otros procedimientos de elaboración de calcos analógicos a partir de fotografía han sido desarrollados y utilizados en mayor o menor medida. Así, Gil Carlés desarrolló experimentalmente el procedimiento que dio en llamar “fotocalco” (Montero Ruiz *et al.* 1998), es decir, un calco elaborado a partir del revelado químico diferencial de las copias. En esta misma línea cabe encuadrar los trabajos de Aujoulat (1987), utilizando su sistema de “equidensidades”. El procedimiento, mediante el impresionado y revelado de diferentes negativos a partir de un negativo o diapositiva del original, permite la elaboración de máscaras que se utilizarán, superpuestas, para revelar en una copia final en blanco y negro las diferentes áreas de equidensidad, es decir, de un mismo valor de gris, juntas o por separado. Esta técnica permite la eliminación del ruido de fondo que representa, a estos efectos, todo lo que no sean los trazos de las distintas manifestaciones pictóricas.

Aunque los resultados obtenidos con estas técnicas fotoquímicas son apreciables, puede achacársele un grave defecto, cual es la necesidad de necesitar mucho tiempo y elaborados tratamientos químicos para los que se necesita una adecuada formación empírica. Así, este tipo de sistemas ha tenido un éxito relativo y han sido aplicados tan sólo por las personas que los han desarrollado y en contextos determinados, tales como la réplica de Lascaux, no llegando en ningún caso a generalizarse su uso como método estandarizado de registro de pinturas rupestres.

Un resumen de las distintas ventajas e inconvenientes de la utilización de la fotografía analógica como sistema de registro se muestra en el Cuadro 2.6.1.

Fotografía analógica	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"><li>• No implica contacto físico con los motivos</li><li>• Rápido</li><li>• Registro simultáneo de paneles y soporte</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presencia de aberraciones debidas a la morfología de las lentes</li><li>• Presencia de deformaciones geométricas en la imagen</li><li>• Dificultad para el registro fiable del color</li><li>• Calcos obtenidos de manera lenta y costosa</li></ul>

Cuadro 2.6.1. Resumen de ventajas e inconvenientes de la reproducción de manifestaciones rupestres mediante fotografía analógica. Fuente: elaboración propia.

## 2.7. Fotogrametría analógica

La fotogrametría tiene ya una larga tradición como método de registro arqueológico. Desarrollada a mediados del siglo XIX, su primera aplicación arqueológica fue el levantamiento de las ruinas de Persépolis en 1885 (Fussell 1982). En este mismo año, Meydenbauer creó el primer servicio de fotogrametría para la documentación de los monumentos de Prusia (Almagro 2002). A pesar de tan lejanos precedentes, la aplicación de los métodos fotogramétricos al registro del arte rupestre (Figura 2.7.1) es bastante reciente, comenzando a aplicarse en los años 70 del siglo XX (Turpin *et al.* 1979, Fussell 1982).

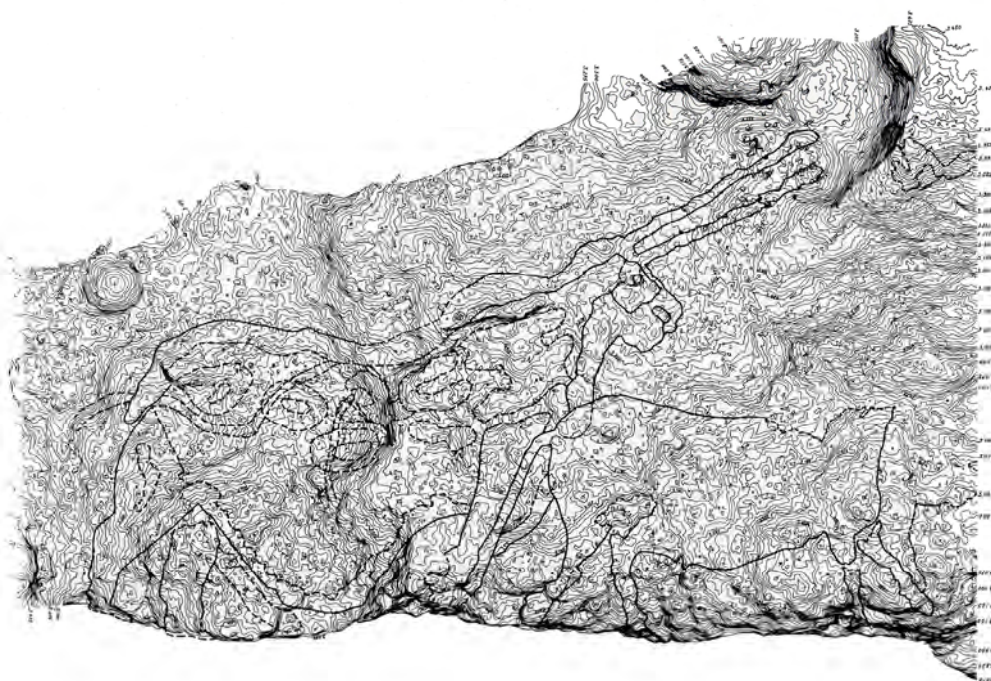


Figura 2.7.1. Utilización de la fotogrametría analógica para la restitución y el registro de motivos rupestres paleolíticos en la Sala de los Toros de Lascaux. Fuente: Aujoulat (1987).

La fotogrametría es una técnica de medición basada en la utilización de fotografías, entendidas como imágenes perspectivas. Así, si disponemos de una imagen fotográfica (que, como hemos comentado en el apartado 2.6 es una representación mediante proyección cónica del objeto real) y conocemos la posición relativa del centro de proyección podremos reconstruir las direcciones de todos los puntos registrados en la imagen. Si además se conoce la posición y orientación de la cámara en el momento de captar la imagen, se podrán

determinar esas mismas direcciones referidas al sistema general de coordenadas. Si sólo conocemos los datos que pueden extraerse de la imagen, serán necesarias dos fotografías del mismo objeto tomadas desde puntos distintos para reconstruir la posición espacial de todos aquellos puntos visibles en las dos imágenes (Almagro 2002).

El resultado del registro por métodos fotogramétricos es la representación del relieve del soporte, expresado en isolíneas equiparables a las curvas de nivel de las representaciones cartográficas al uso. Si la resolución (intervalo de alturas representado por las isolíneas) es lo suficientemente alta, el levantamiento fotogramétrico constituye un método muy fiable para la reproducción de las representaciones grabadas, ya que, del mismo modo que un mapa, permite medir y realizar cortes topográficos en cualquier dirección, facilitándose el estudio de, por ejemplo, las técnicas utilizadas.

El principal inconveniente de la fotogrametría analógica reside en su alto coste y complejidad técnica, que hace necesario un personal altamente especializado para llevar a cabo la documentación. Además, documentar no es sólo obtener el relieve, sino que sobre él hay que colocar las manifestaciones rupestres. Éste, sobre todo en cuanto a las pinturas, es un factor de subjetividad importante, ya que con este tipo de sistemas la capa pictórica debe ubicarse manualmente. Volvemos, así, de nuevo, a los mismos factores de subjetividad que comentábamos con respecto al dibujo a mano alzada, aunque esta vez sobre un soporte sensiblemente más real.

Sólo recientemente, con el uso generalizado de ordenadores cada vez más baratos y potentes, se ha podido plantear la corrección de fotografías como un procedimiento estándar para la documentación del arte rupestre. La fotografía restituida digitalmente es comparable a la planimetría y, por lo tanto, pueden realizarse mediciones fiables sobre ella, al tiempo que se abaratan enormemente los costes. Otros medios de reproducción del relieve, como el escáner láser, permiten una gran fiabilidad en la reconstrucción, aunque por el momento los costes son prohibitivos.



El Cuadro 2.7.1 resume sumariamente las ventajas e inconvenientes del registro de manifestaciones artísticas rupestres utilizando técnicas analógicas de fotogrametría.

<b>Fotogrametría analógica</b>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No implica contacto físico con los motivos</li> <li>• Fiable en cuanto al relieve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caro</li> <li>• Necesita personal especializado</li> <li>• Potencialmente subjetivo, al ubicar manualmente las pinturas</li> <li>• Gran cantidad de horas de campo y de laboratorio</li> </ul>

Cuadro 2.7.1. Ventajas e inconvenientes del uso de sistemas analógicos de fotogrametría como sistema de registro de arte rupestre. Fuente: elaboración propia.



### **3. El análisis de imagen como alternativa**



Hemos comprobado también que la aplicación de estos mismos métodos de documentación tiende a no reflejar elementos del sistema que pueden ser relevantes para la conservación del mismo: unas veces por desconocimiento de los procesos actuantes, lo que dificulta el reconocimiento de sus indicios, otras veces por considerarse elementos secundarios en la investigación que se está llevando a cabo.

Figure 1 consists of two parts. Part (a) is a photograph showing the entrance to a rock shelter located at the base of a steep, light-colored limestone cliff. Two people are standing near the entrance for scale. Part (b) is a structural map of the rock shelter. It shows the outline of the shelter with various fracture orientations indicated by blue lines. The orientations are labeled with strike-slip (E-W) and normal (N-S) fault types and their respective slip vectors (e.g., 150° / 45° E, 125° / 45° E, 150° N, 80° S). A dark shaded area represents the rock mass, and a hatched area represents the rock mass. The map also shows the orientation of the rock mass (N-S / 80° S) and the orientation of the rock mass (E-W / 80° S).

65

Si volvemos al símil cartográfico que apuntábamos en el capítulo introductorio de este Trabajo de Investigación, el levantamiento de un mapa puede llevarse a cabo por distintos medios. Una posibilidad es proceder al levantamiento mediante técnicas topográficas, requiriendo el proceso de continuas y precisas mediciones para levantar una red básica apoyada en puntos de referencia que luego servirá de marco para rellenar los detalles del terreno. Otra manera de levantar un mapa es la basada en la fotografía aérea o las imágenes obtenidas mediante sensores emplazados en satélites artificiales. Con este segundo método, el levantamiento del mapa evita mediciones sobre el terreno y desplazamientos, requiriendo tan sólo el tiempo necesario para los trabajos de gabinete, que incide en la identificación de los elementos captados (fotointerpretación) y en la asignación de los valores de los distintos píxels de la imagen a una serie de conjuntos que reflejen la realidad de un modo comprensible (clasificación). Este segundo enfoque es el que se presenta en este trabajo como una alternativa económica y no invasiva a la utilización de los métodos tradicionales.

Uno de los caminos que pueden tomarse para poder superar los inconvenientes arriba citados, es decir, conseguir reflejar la dimensión espacial de los distintos elementos del sistema de una manera rápida, fiable, barata y sin contacto físico con los mismos, puede ser la utilización de datos procedentes de sensores remotos y el posterior análisis de los mismos. Una aproximación de este tipo puede permitir obtener información con componente espacial fácilmente explotable de muchos de los elementos del sistema, o de sus efectos, sin necesidad de tener ningún contacto físico con los mismos. El conjunto de operaciones matemáticas que efectuamos con las imágenes obtenidas por estos medios constituye lo que se conoce como análisis de imagen.

Entendemos como imagen cualquier forma de representación pictórica de los datos (Chuvienco 2002) obtenidos por un sensor, es decir, de un dispositivo que detecta radiación electromagnética, la convierte en una señal y la presenta en forma susceptible de ser aprovechada para su estudio.

Los sensores registran la reflectividad, es decir, el porcentaje de radiación reflejada por una superficie bidimensional (Chuvieco 2002), de los distintos materiales en el abanico de longitudes de onda a las que son sensibles y la traducen a valores numéricos, que se ordenan de forma matricial.

El principio físico que permite este enfoque es la capacidad que tienen los distintos materiales de reflejar una parte de la radiación incidente, que proviene de una fuente externa, y de absorber otra. Así, vemos la hierba verde porque absorbe todas las longitudes de onda recibidas y tan sólo refleja las que corresponden al color verde. La parte del espectro electromagnético que podemos ver los seres humanos es la radiación comprendida en el intervalo aproximado 400-700 nm de longitud de onda (Figura 3.2). Dependiendo del arco espectral que pueda detectar el sensor que utilicemos, seremos capaces de captar la energía que un objeto refleja en las distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. En el ejemplo de la hierba, podremos observar otras características distintas de su color, como sus diferencias de humedad, si contamos con un sensor capaz de detectar la radiación infrarroja que refleja.

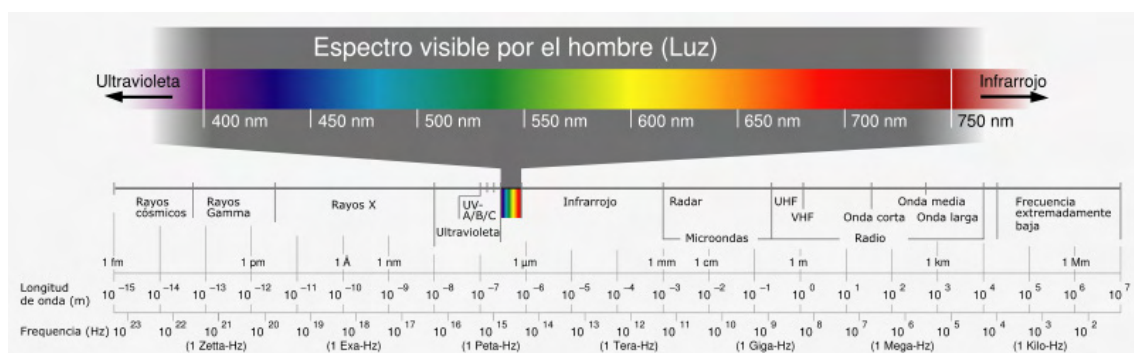


Figura 3.2. Esquema del espectro electromagnético. Fuente: Frank Horst (2005) [<http://www.zeitmaschinisten.com/svg/Spektrum.svg>].

Los sensores remotos son aquellos que obtienen datos numéricos de la superficie sin estar en contacto con ella. Muchos dispositivos diferentes, incluidas las cámaras fotográficas digitales, pueden así entenderse como un sensor remoto, que en el ejemplo citado capta datos de reflectividad en el intervalo de longitudes de onda visibles por el ojo humano. El producto de estos sensores es una imagen digital: es decir, una matriz de puntos (píxeles) con

diferente valor numérico correspondiente a la reflectividad de la superficie a distintas longitudes de onda.

Las imágenes a color obtenidas mediante una cámara digital estándar son la combinación de tres diferentes bandas, que reflejan la reflectividad en tres rangos diferentes de longitud de onda: el intervalo entre 400 y 500 nm (o banda azul), el comprendido entre los 500 y 600 nm (banda verde) y el intervalo de longitudes de onda entre los 600 y 700 nm (banda roja). La reflectancia medida se codifica en 256 valores que corresponden a otros tantos tonos de gris, codificando el 0 el negro y el 255 el blanco. Estas imágenes son, por tanto, tribanda, o lo que es lo mismo, codifican los valores detectados en tres matrices de datos distintas, una correspondiendo a la banda roja, otra a la verde y otra a la azul.

Una imagen multibanda, o multispectral, es aquella que tiene más de un valor numérico ( $z$ ) asociado a unas mismas coordenadas ( $x,y$ ). Cada conjunto de coordenadas ( $x,y,z$ ) constituye una banda. Una imagen multispectral está compuesta de  $n$  bandas tal que  $n \neq 1$  (Figura 3.3).

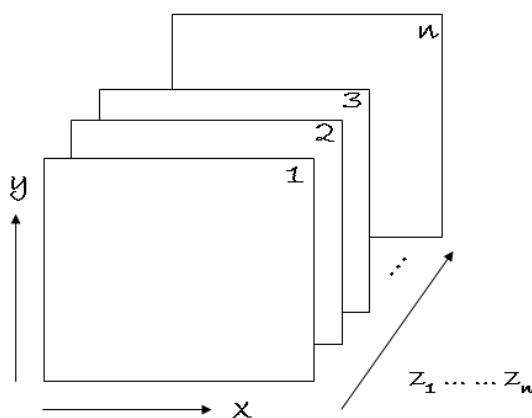


Figura 3.3. Esquema de imagen multibanda, con  $n$  planos definidos por sus coordenadas cartesianas y su valor de reflectividad medido en distintos intervalos de longitud de onda. Fuente: elaboración propia.

Es interesante resaltar que el carácter matricial de las imágenes digitales aporta datos no sólo de tipo cuantitativo (porcentaje de radiación medido o reflectividad) sino también de tipo espacial, reflejado en sus coordenadas cartesianas ( $x,y$ ). Estas coordenadas serán, así, las mismas para un píxel



determinado, variando tan solo la coordenada  $z$  (reflectividad). Por ello, podrán realizarse en estas imágenes correcciones tanto de tipo geométrico como de tipo radiométrico.

Como correcciones geométricas entendemos aquellas que no alteran el valor de la coordenada  $z$ , sino que tan sólo corrigen los valores de las coordenadas cartesianas. Estas operaciones entran dentro del ámbito de la fotorrestitución digital (Almagro 2002), y permiten reestablecer una geometría interna coherente de la imagen, eliminando las distorsiones derivadas de las lentes empleadas y del ángulo que adopta el sensor con respecto al objeto de estudio. Las técnicas de fotorrestitución son variadas y necesitan de al menos dos imágenes captadas desde puntos de vista diferentes, aunque en algunos casos, cuando los motivos son sensiblemente planos, puede ser suficiente una sola imagen. Algunos ejemplos recientes, sobre todo aplicados al levantamiento de edificios, pueden encontrarse en la bibliografía (Berberan 1999, Hemmleb 1999, Karras y Petsa 1999, Mark y Billo 1999, Schuhr y Kanngieser 1999, 2001, 2003).

Como correcciones radiométricas entendemos aquellas que se encaminan a la modificación de los valores originales de  $z$  con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen caso de una recepción ideal (Chuvieco 2002). Este tipo de modificaciones encuentra su ámbito de aplicación en imágenes captadas con algún tipo de interferencia o de error sistemático del sensor (Figura 3.4).

Algunos tratamientos interesantes son los que se destinan al aumento del contraste de las imágenes, es decir, cuando no existe una gran diferencia entre los tonos más claros y los más oscuros. Usualmente consisten en la redefinición de los tonos de gris asociados a los valores del píxel, permitiéndose una mayor nitidez en la visualización de características enmascaradas por esta misma falta de contraste. Esto es posible porque en la mayoría de los casos la superficie de estudio no abarca toda la sensibilidad radiométrica del sensor, quedando libres algunos tonos de gris. En algunos casos, con valores extremos muy marcados, estas técnicas pueden presentar

el inconveniente de la pérdida de datos ya que al reasignar los valores del píxel esos mismos valores extremos pueden quedar ocultos, aunque, por otra parte, se afina la definición de los píxels con valores incluidos en el rango (Chuvieco 2002).

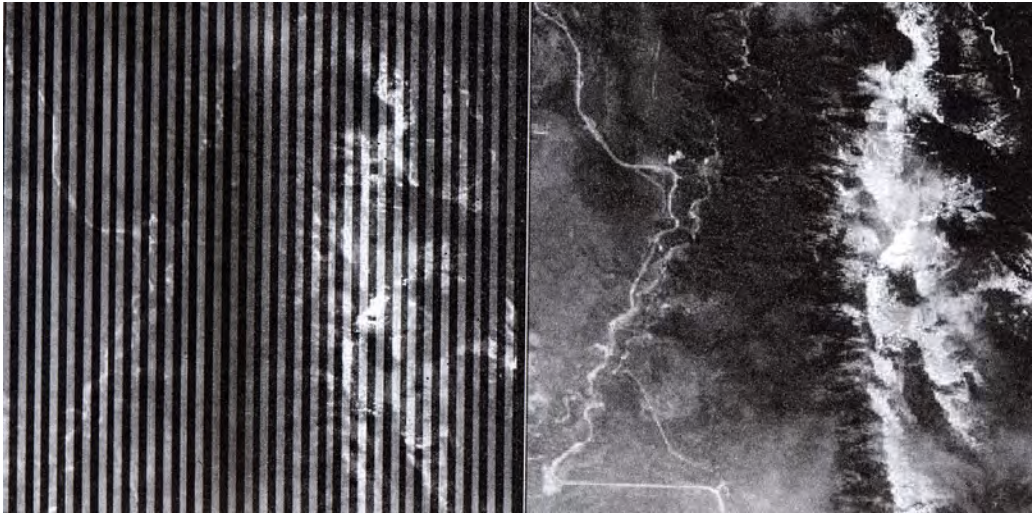


Figura 3.4. Ejemplo de corrección radiométrica de una imagen digital. El error sistemático del sensor en la imagen de la izquierda genera un bandeo en los valores de los píxels, corregidos en la imagen de la derecha. Fuente: Chuvieco (2002).

Otra opción interesante es la aplicación a la imagen de filtros digitales. El objeto de estos filtros es aislar componentes de interés o eliminar elementos anómalos. Dada la estructura matricial de las imágenes digitales ya comentada, pueden aplicársele matrices móviles que transformen los valores del píxel en función de los valores vecinos. Existen fundamentalmente dos tipos: filtros de paso bajo, que tienden a destacar el componente de homogeneidad en la imagen (Figura 3.5), o filtros de paso alto, que se dirigen a realzar las áreas de alta variabilidad, donde es más intenso el contraste espacial (es decir, la diferencia de valores entre el píxel central y los que le rodean). Los filtros de paso bajo se utilizan fundamentalmente para reducir el ruido de fondo en imágenes altamente heterogéneas, o para restaurar los errores aleatorios ocurridos en la captación de la imagen por el sensor. Los filtros de paso alto, por el contrario, remarcan los contrastes entre los píxels vecinos, enfatizando los rasgos lineales presentes en la imagen.

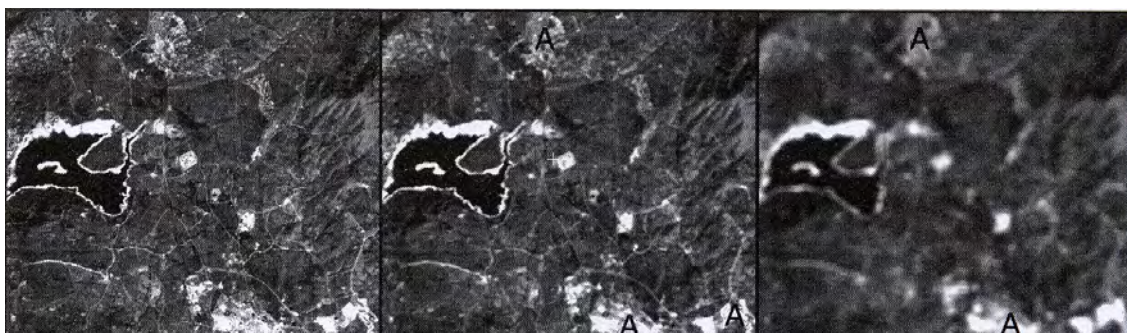


Figura 3.5. Aplicación de filtros de paso bajo a una imagen. De izquierda a derecha: imagen original, filtro de 3x3, filtro de 3x9. Fuente: Chuvieco (2002).

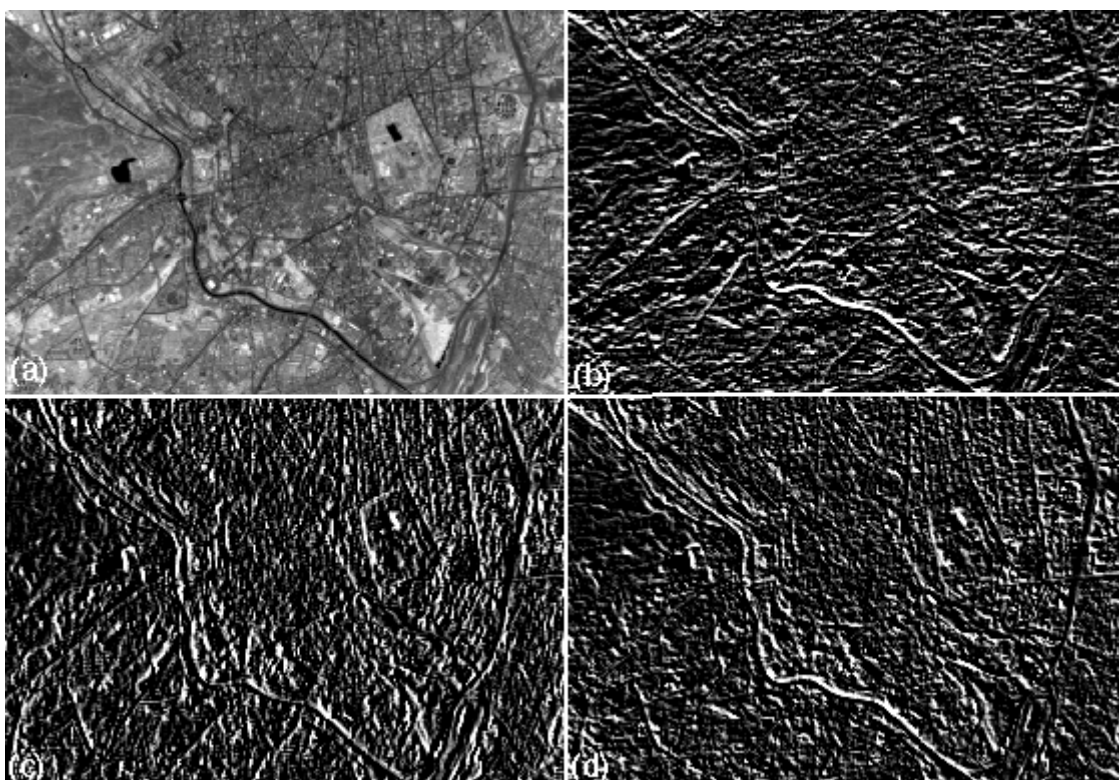


Figura 3.6. Aplicación de filtros de paso alto para la detección de elementos lineales en determinadas direcciones. (a) imagen original, (b) filtro norte, (c) filtro oeste, (d) filtro noreste. Fuente: Chuvieco (2002).

Los filtrajes digitales cambian el valor no solo de los valores visuales (tonos de gris) de la imagen: también cambian el valor original de cada píxel. Por ello, no son muy aconsejables para la clasificación digital, ya que se corre el riesgo de cometer errores en la asignación de los píxeles a clases determinadas (Chuvieco 2002).

Las técnicas de análisis de imagen no son ya herramientas nuevas para el estudio de los sistemas en los que se incluye el arte rupestre. Así, Rip (1989)

incide en el incremento del contraste mediante ecualización de modelos RGB y HSI, y la aplicación de filtros para la detección de bordes. De manera similar, Clogg *et al.* (2000) aplican filtros para la reducción del ruido y la detección de bordes para finalizar binarizando los resultados. Otras cubiertas del sistema, como las bióticas, han recibido una atención más temprana, y se centran en los aspectos cuantitativos a partir de técnicas de análisis de imagen (como ejemplo, Thornbush y Viles (2004 a, b)).

Una alternativa muy prometedora, sobre todo para imágenes altamente correlacionadas (es decir, cuyos valores  $z$  en las distintas bandas están muy próximos entre sí, es la aplicación de técnicas de decorrelación de datos (Gillespie *et al.* 1986, 1987). Algunas de estas técnicas de análisis de imagen, se han aplicado con éxito para el incremento del contraste en imágenes de arte rupestre (Rip 1983, Mark y Billo 2006, Lerma 2001, Lerma *et al.* 2006). Entre estas técnicas, quizá la más útil sea el análisis de Componentes Principales (PCA). El PCA resulta muy práctico cuando se trata con varios intervalos espectrales, puesto que permite la reducción del conjunto de datos a un número más manejable, eliminando la información redundante (Cetica *et al.* 2002). Se trata de una técnica de análisis multivariante que permite representar los datos sobre un nuevo sistema de referencia. Las técnicas de análisis multivariante permiten tratar con múltiples variables independientes y/o dependientes, que pueden estar correlacionadas entre sí en grados variables (Martínez Arias 1999). Aplicada a imágenes de motivos de arte rupestre, ha mostrado ser una herramienta muy eficaz para visualizar diferencias sutiles, inapreciables a partir de medios fotográficos convencionales (Vicent García *et al.* 1996), e incluso para mostrar motivos que no eran visibles en absoluto (Mark y Billo 2006).

La técnica de análisis de componentes principales resulta útil cuando nos encontramos con un número elevado de variables correlacionadas entre sí (Martínez Arias 1999), cuya estructura queremos simplificar, proporcionándole otra lo más simple posible, de manera que se posibilite una interpretación más fácil de los datos. La estrategia del análisis consiste en la obtención de combinaciones lineales no correlacionadas entre sí y que van explicando



cantidades cada vez menores de variación en los datos (Martínez Arias 1999). Las componentes resumen la covariación entre las variables, es decir, cómo varían unas variables en función de las demás. Así, a partir de la matriz de coeficientes de correlación (o covarianzas) entre nuestras variables, obtendremos varios ejes nuevos, perpendiculares entre sí (sin correlación) (Shennan 1992). La representación de los datos sobre estos nuevos ejes, ortogonales entre sí, contiene toda la información del conjunto original de variables, razón por la que las imágenes obtenidas por estos medios permiten una clasificación fiable (Vicent García *et al.* 1996, Chuvieco 2002).

La aplicación de estas técnicas es independiente del número de bandas con las que trabajemos. Los ejemplos comentados más arriba entran en el campo del espectro visible, pero igualmente pueden permitir obtener buenos resultados trabajando con otros rangos de longitud de onda, como el infrarrojo reflejado (Baronti *et al.* 1997, Attas *et al.* 2003).

De cara a una mejor visualización de los distintos elementos presentes en una imagen multibanda, resulta muy apropiada la elaboración de imágenes en falso color (Figura 3.7). Estas pueden elaborarse mediante la transposición de bandas si partimos de una imagen tribanda tipo RGB; mediante la utilización de sólo tres bandas del conjunto, si se trata de imágenes de más de tres bandas; de la utilización, en orden o traspuestas, de las imágenes obtenidas mediante análisis de Componentes Principales o de la utilización de bandas originales y bandas sintéticas obtenidas mediante análisis estadístico. El principio es sencillo, ya que cada una de las bandas que componen una imagen en color es, como dijimos más arriba, una imagen que codifica en tonos de gris los valores de reflectancia. Asignando a tres bandas distintas los valores correspondientes a la bandas roja, verde y azul del espectro electromagnético logramos componer una imagen en color, que, si la combinación de bandas está bien elegida, facilita la visualización (y al mismo tiempo la interpretación) (Mark y Billo 2002) ya que el ojo humano advierte mejor diferencias cromáticas que diferencias en tonos de gris (Ruiz 1994).

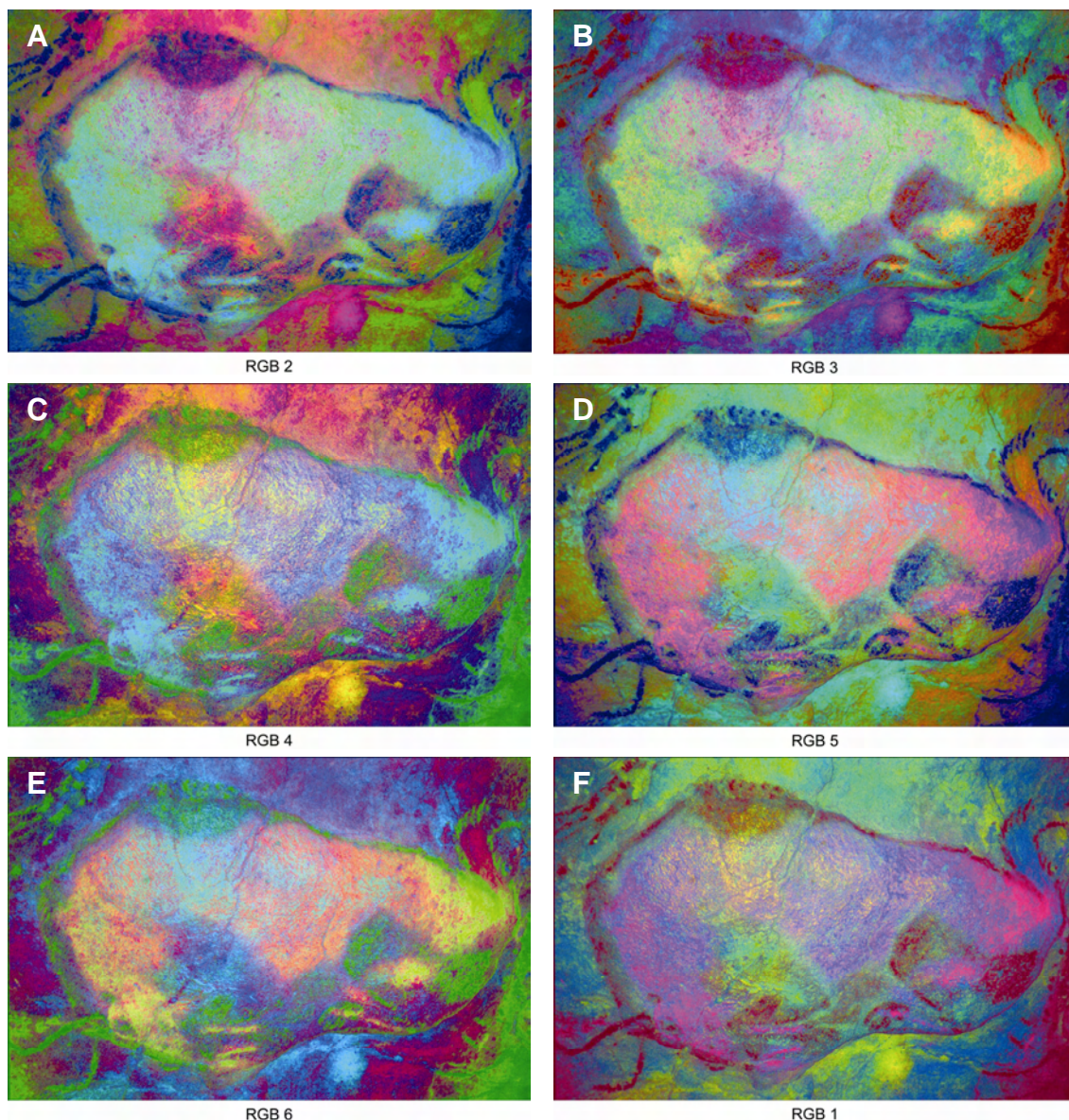


Figura 3.7. Diferentes posibilidades para la composición de una imagen en falso color a partir de las componentes principales de una imagen tribanda (RGB). (A) PC1/PC2/PC3. (B) PC3/PC2/PC1. (C) PC1/PC3/PC2. (D) PC2/PC1/PC3. (E) PC2/PC3/PC1. (F) PC3/PC1/PC2. Fuente: elaboración propia a partir de diapositiva de Cesáreo Sáiz Jiménez.

Por último, en este breve repaso a las técnicas de análisis de imagen, hay que destacar la utilidad de los algoritmos de clasificación. Ya hemos visto que las imágenes multispectrales, o multibanda, consisten en un conjunto de datos numéricos ordenados en forma matricial que corresponden a la reflectividad de los distintos materiales y cubiertas en distintas bandas, o rangos de longitud de onda. Las diferencias en reflectividad de los distintos materiales se deben en buena medida a su composición química (Vicent García *et al.* 1996), aunque otros muchos factores pueden afectar a la reflectividad de los mismos (Vicent García *et al.* 1996, Chuvieco 2002), tales como costras calcáreas, presencia de

biopelículas o lavados parciales. Los valores de reflectividad en distintos intervalos de longitud de onda pueden representarse gráficamente en una curva de reflectividad (Figura 3.8).

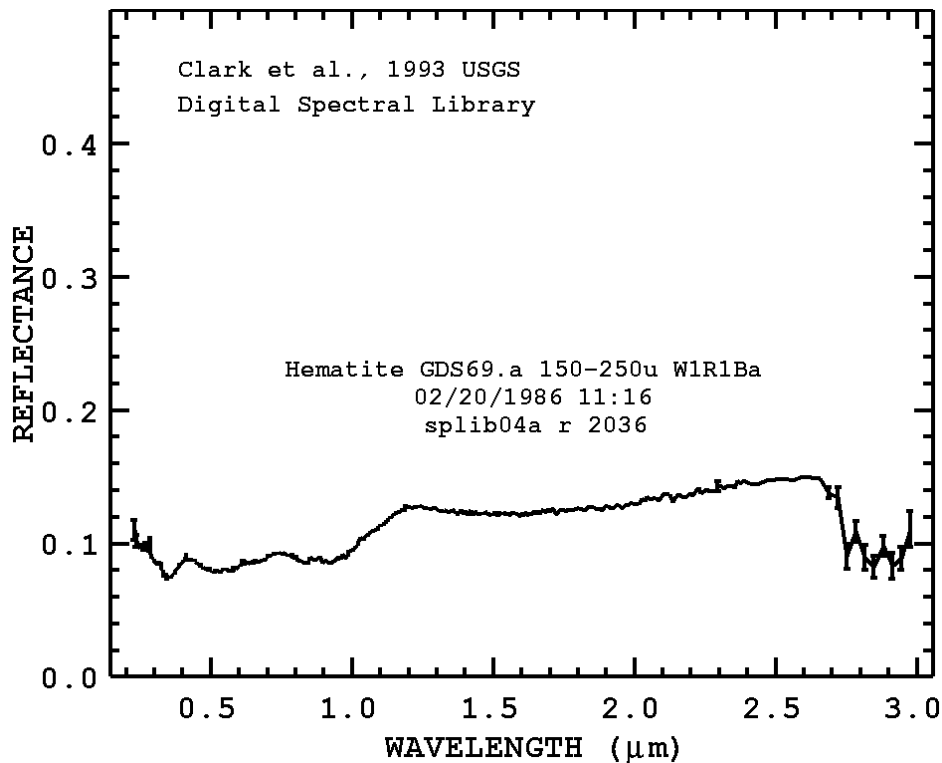


Figura 3.8. Curva de reflectividad de la hematita ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en el intervalo de longitud de onda comprendido entre 0,2-3 $\mu\text{m}$ . La curva muestra la respuesta experimental de hematita químicamente pura en un intervalo que abarca desde longitudes de onda propias del ultravioleta hasta las propias del infrarrojo cercano. Fuente: *United States Geological Survey Digital Spectral Library*, splib04a. [<http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>].

A partir de estas curvas de reflectividad se pueden establecer lo que se conoce como firmas o signatures espectrales, que permiten de algún modo caracterizar los distintos materiales.

La clasificación de una imagen consiste en la asignación a una clase (o conglomerado) de píxeles del valor de un píxel determinado. Esto se consigue aplicando a la imagen algoritmos de distinto tipo. Básicamente podemos hablar de dos tipos de clasificaciones: clasificaciones *no supervisadas* y *supervisadas*. Las clasificaciones *no supervisadas* son aquellas realizadas de manera automática y el resultado será un conjunto de clases o conglomerados que, en función del algoritmo aplicado, serán más o menos congruentes con la realidad

que refleja la imagen, pero que de todas maneras dan una idea de la variabilidad de los valores de los píxels, reflejando clases más o menos reales (a veces una sola clase identificada visualmente puede estar dividida en dos o más, reflejando diferencias que habrá que explicar). El otro tipo de clasificaciones se conoce, como hemos mencionado, como *supervisadas*, y consisten en la asignación de los píxels a un conjunto de clases previamente definidas. En este ámbito es donde cobran importancia las firmas espectrales, ya que permiten una identificación precisa de los elementos que estamos clasificando.

Las firmas espectrales suelen construirse a partir de los datos obtenidos mediante espectroradiómetros de campo, y almacenarse como librerías espectrales. Varias de estas librerías se encuentran disponibles vía Internet, aunque todas ellas se han construido con vistas a aplicaciones de teledetección. Así, muchas de estas firmas no son extrapolables a la documentación de los sistemas en los que se encuadran las manifestaciones artísticas parietales. La creación de librerías espectrales específicas, con valores obtenidos en laboratorio y en campo es una de las herramientas que puede permitir una más correcta utilización del análisis de imagen para la documentación del arte rupestre.

Sin embargo, es posible una clasificación supervisada de los elementos presentes en una imagen sin tener las firmas espectrales de los mismos. La clasificación en este caso se realiza a partir de unas “áreas de entrenamiento” previamente definidas por el clasificador, que den cuenta de las cubiertas básicas identificadas mediante fotointerpretación.

Hemos visto en este capítulo que el análisis de imagen puede brindarnos distintas posibilidades de interés para la documentación de los distintos elementos constituyentes de estos sistemas naturales complejos. La aplicación de algunas de estas técnicas en casos de estudio concretos nos ayudará a evaluar su utilidad en cuanto herramientas no invasivas para la documentación.



## **4. Dos casos prácticos**



Se presentan aquí dos casos prácticos en los que se han aplicado técnicas de análisis de imagen para la documentación y conservación de bienes arqueológicos.

El primero de ellos incide en la detección de cubiertas de origen biótico y el desarrollo de una técnica novedosa para su monitorización cuantitativa y cualitativa. Como hemos desarrollado en el primer apartado de este Trabajo de Investigación, el concepto de documentación integral que barajamos hace hincapié en el conocimiento de todos los elementos del sistema natural en el que se inserta como un componente más el arte rupestre, con vistas a su conservación. Se presenta este primer caso, aunque no se ha llevado a cabo sobre una superficie de arte parietal, para ejemplificar el potencial que las técnicas basadas en análisis de imagen tienen para registrar un componente vivo del sistema, con una componente espacial, pero también, debido a que se trata de organismos vivos, con una marcada componente temporal. Creemos que los resultados de este trabajo son de gran relevancia en ámbitos en los que la amenaza biológica afecte a manifestaciones rupestres.

El segundo caso práctico es una aplicación de este mismo conjunto de técnicas para la mejora de la visualización de motivos de arte rupestre que resaltan poco de la superficie soporte (es decir, cuando se trata de imágenes poco contrastadas o, en otras palabras, altamente correlacionadas). La intención de este trabajo es llegar a este objetivo prescindiendo de técnicas de retoque fotográfico, que presentan el peligro potencial de la simplificación de la imagen o de la ocultación de determinados rasgos poco visibles en aras de la visualización clara de otros. El enfoque de este segundo caso práctico es novedoso no sólo en cuanto a los planteamientos sino en los procedimientos empleados, creando imágenes en falso color a partir de bandas reales y bandas obtenidas por medio de la estadística de imagen. Como veremos, el procedimiento empleado permite no solo la mejora en la visualización de elementos ya detectados sino la detección de elementos difícilmente observables a simple vista.



#### **4.1. Cuantificación de superficie biodeteriorada: monitorización de una tumba de la Necrópolis de Carmona (Sevilla)**

##### *4.1.1. Introducción*

La Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla) es uno de los complejos funerarios mejor conservados de la provincia romana de la Bética. Asociada a la antigua Carmo, la necrópolis tuvo su periodo de utilización más importante entre los siglos I y II de nuestra era. Descubierta casualmente en 1868, año en que comenzaron las excavaciones arqueológicas, y visitable para el público general desde 1885, las distintas tumbas han experimentado diversos grados de deterioro desde su exhumación hasta nuestros días.

La mayoría de las tumbas de esta necrópolis consisten en una cámara hipogea de planta cuadrangular excavada en la roca, con varios nichos distribuidos a lo largo de los muros que servían para albergar las urnas cinerarias. El Mausoleo Circular recibe este nombre por la superestructura de sillares de 11,70 m de diámetro que corona la tumba. La cámara hipogea, de planta rectangular y cubierta con bóveda de cañón, alberga un total de once nichos. El acceso se realiza mediante un pozo de 2,45 m de altura. El ambiente interior de la tumba es húmedo y sin insolación directa.

El clima que afecta a la necrópolis se caracteriza por una importante oscilación térmica, que va de una media de 10,6 °C en Enero a 26,6 °C en Agosto. La media anual de precipitaciones está en 628 mm, concentradas sobre todo en otoño. Un largo período de aridez se extiende de Mayo a Septiembre (Ariño 1996).

En el interior de las tumbas el biodeterioro se manifiesta visiblemente como biofilms verdes de cianobacterias y algas, así como pequeñas manchas, más localizadas, de diversos colores, atribuidas a colonización bacteriana. Desde 1997 vienen estudiándose algunas de estas manchas de color violeta en el Mausoleo Circular, en las que se han detectado varias cepas del género *Streptomyces*. En particular, la cepa C48 se mostró en laboratorio como productora de pigmentos de idéntica coloración a la que se observa en las

manchas del Mausoleo Circular (Laiz *et al.* 2002, 2005). En estos trabajos también se detectó que las manchas iban aumentando de tamaño (Laiz *et al.* 2005). La necesidad de contar con una estimación cuantitativa de esta progresiva colonización que permitiera prever la evolución de dichas manchas ha impulsado la realización de este trabajo. Para ello se contaba con una serie de fotografías de las distintas manchas obtenidas en varias campañas de muestreo que constituían una buena serie temporal tanto para la estimación de su crecimiento como para la detección de la dimensión espacial de éste.

#### 4.1.2. *Materiales y Métodos*

Se eligieron varias fotografías de manchas de color violeta del Mausoleo Circular para llevar a cabo el análisis de imagen. Éstas se eligieron siguiendo dos criterios diferenciados: por una parte, ser representativas de los distintos microambientes que se presumían podrían encontrarse en el interior de la cámara hipogea, y por otra parte, la disponibilidad de fotografías que abarcaran el periodo de estudio completo. Se seleccionaron, pues, manchas situadas en la zona más interior de la cámara, junto al nicho principal (área A), y manchas situadas en las jambas del vano de entrada, junto al pozo de acceso, presumiblemente más expuestas a la acción directa de los elementos (área B). Las Figuras 4.1.1 y 4.1.2 muestran respectivamente los lugares de muestreo y las manchas seleccionadas para su análisis.

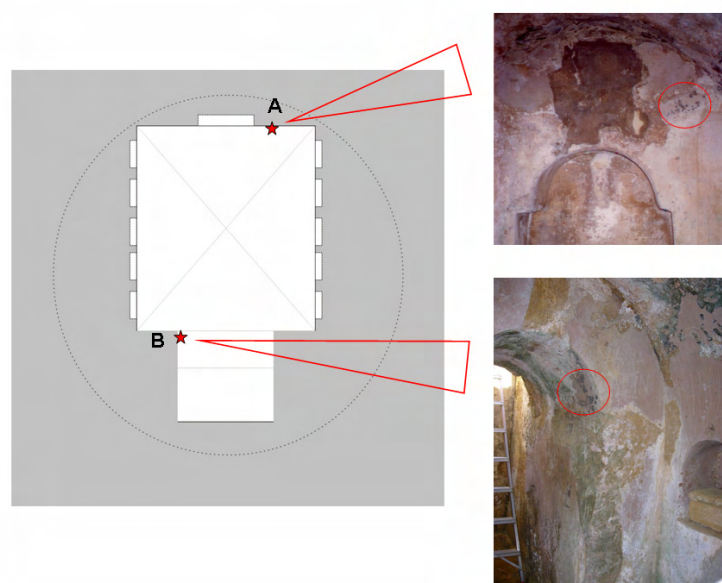
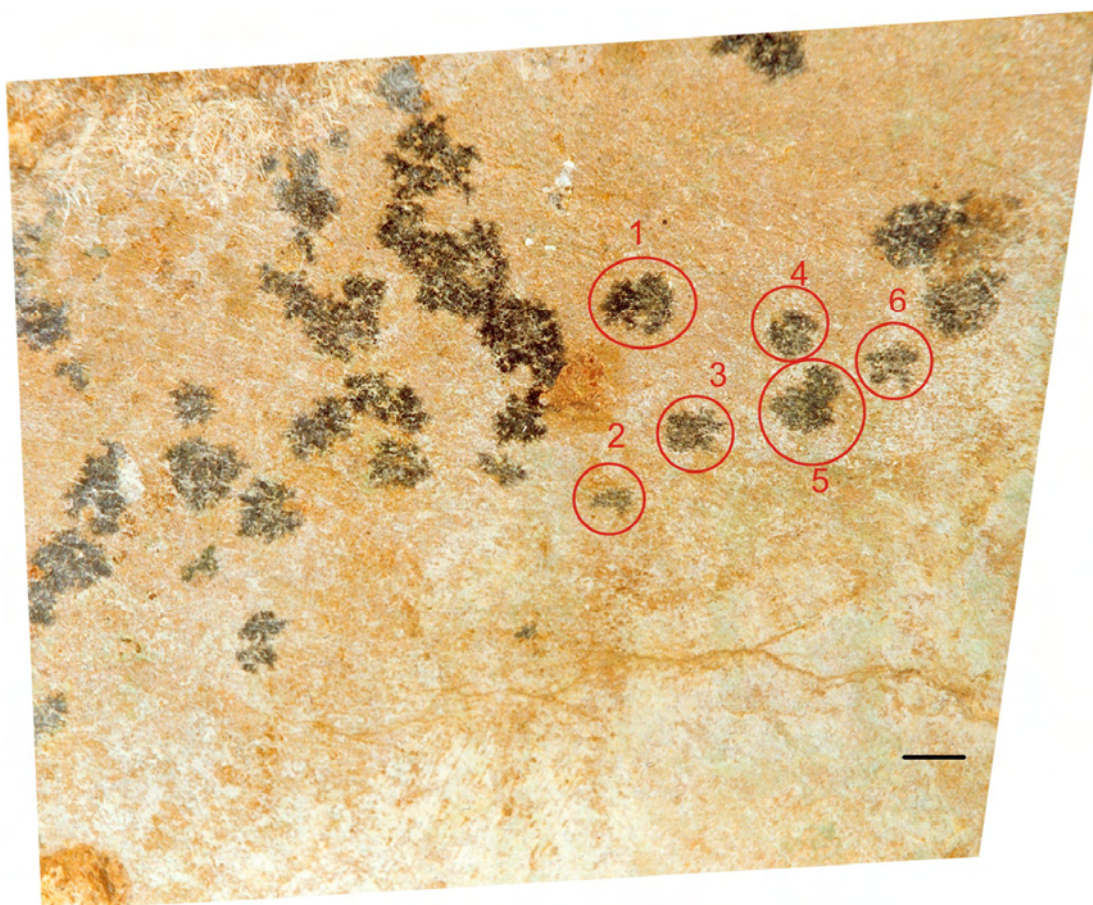


Figura 4.1.1. Esquema de los puntos de muestreo en el interior del Mausoleo Circular. Fuente: elaboración propia.

A



B

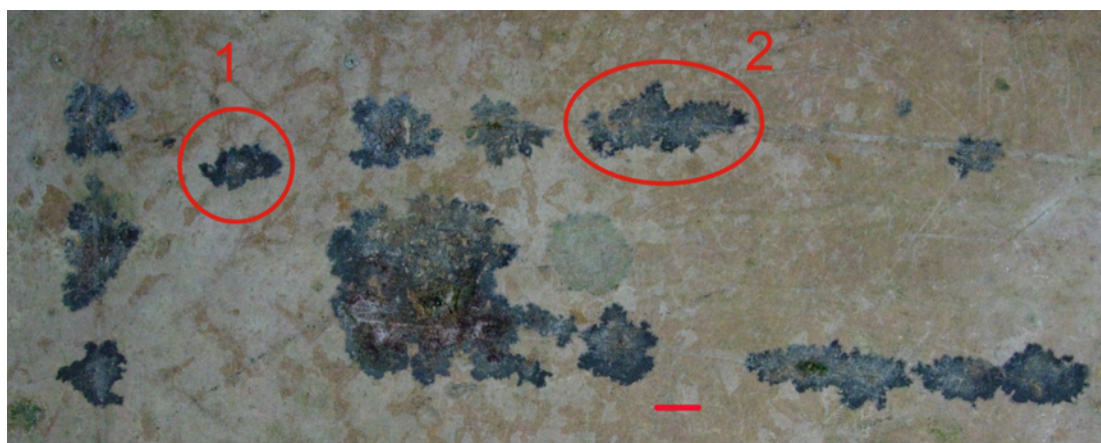


Figura 4.1.2. A. Manchas de origen biológico del área de muestreo A. Fotografía restituida. B. Manchas de origen biológico del área B. Barra = 10 mm. Fuente: elaboración propia.

Las fotografías fueron tomadas en las campañas de muestreo de 1997, 2002 y 2005, con diferentes medios técnicos. Las diferencias en el formato y la calidad de las imágenes (Tabla 4.1.1) aconsejaron un cierto grado de homogeneización geométrica y radiométrica.

Tabla 4.1.1. Características de las imágenes originales utilizadas en el trabajo. Fuente: elaboración propia.

Muestreo	Formato	Calidad original
1997	diapositiva 35 mm	alta
2002	copia en papel	baja
2005	digital	media

Debido a que el único formato disponible de algunas de las fotografías era el analógico, el primer paso consistió en su digitalización a alta resolución (2000 dpi) mediante un escáner AGFA Duoscan HiD. Las imágenes resultantes debieron ser corregidas en sus relaciones geométricas antes de efectuar el análisis de imagen.

#### *Correcciones geométricas y radiométricas*

El escalado y la restitución geométrica de las fotografías se llevó a cabo utilizando el paquete Adobe Photoshop CS. Este *software* se usa ampliamente en edición de imagen, fundamentalmente con fines artísticos. Sin embargo, sus posibilidades para reconstruir la geometría y elaborar así ortofotografías a partir de imágenes no calibradas han sido señaladas por Mark y Billo (1999). Al tratarse de una superficie plana, las deformaciones en las imágenes son achacables directamente a las deformaciones producidas por la lente y la posición de la cámara con respecto a la pared.

Utilizando este paquete de *software*, la geometría y dimensiones de las imágenes de 1997 y 2002 se adaptaron a la de 2005, tomada en posición sensiblemente normal a la pared. El resultado de estas transformaciones es un archivo multicapa en formato *.psd*, en el que cada capa corresponde a uno de los estadios y una última capa recoge la escala gráfica (Figura 4.1.3). En este



tipo de archivos, puede efectuarse la selección del mismo número de píxeles de cada capa activa. Las imágenes resultantes se exportaron como archivos TIFF.

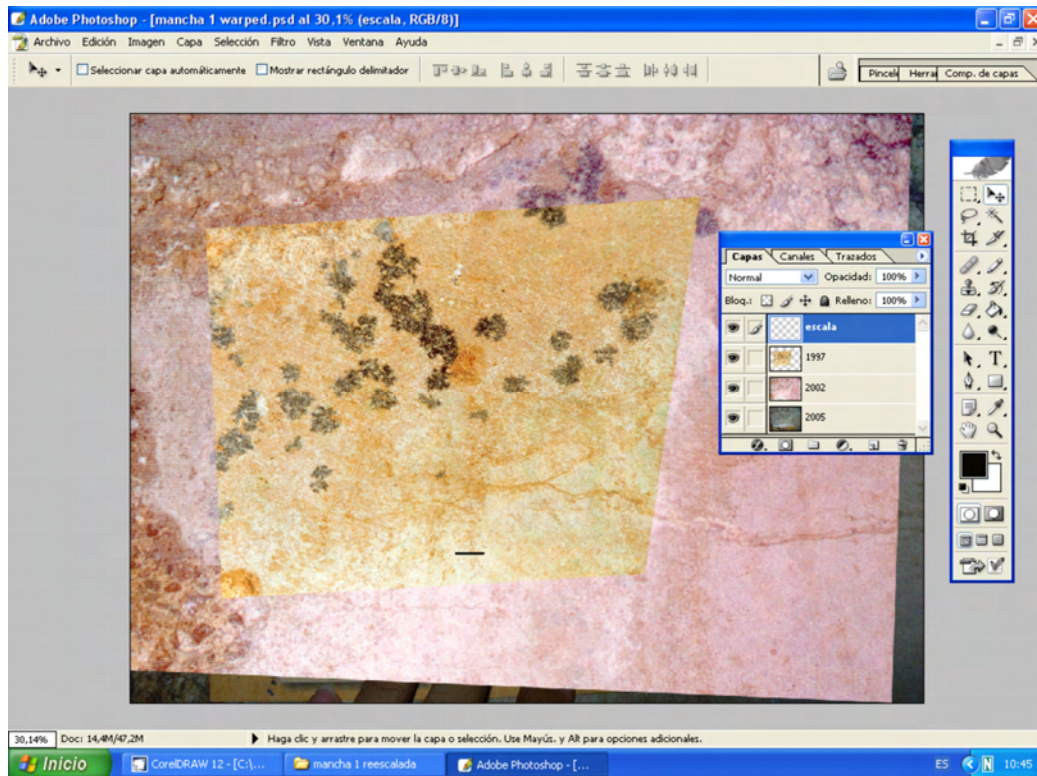


Figura 4.1.3. Archivo multicapa correspondiente al área A. Fuente: elaboración propia.

Para homogeneizar las características radiométricas de los archivos TIFF, se convirtieron a escala de grises asignando los mismos valores a las diferentes bandas roja, verde y azul de las imágenes originales (Figura 4.1.4). Se obtuvieron archivos cuyos diferentes tonos de gris eran directamente comparables entre sí puesto que estaban directamente relacionados con la densidad relativa de color presente en las fotografías originales.

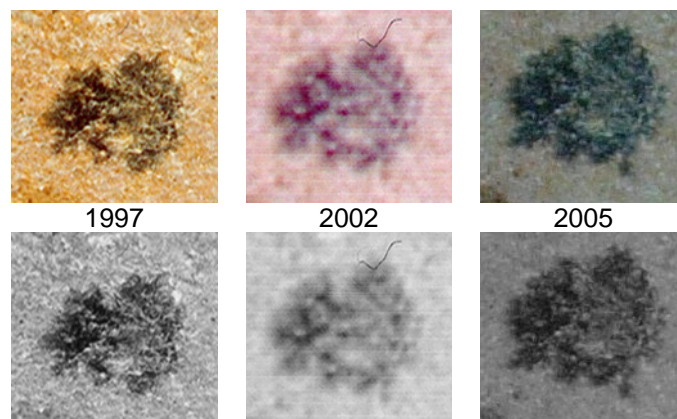


Figura 4.1.4. Imágenes originales y en escala de grises de la mancha A1 utilizadas para el análisis. Fuente: elaboración propia.

### *Análisis de Imagen*

Las imágenes en escala de grises obtenidas se utilizaron para componer cubos de imagen sintéticos de dos bandas para proceder a la comparación entre los diferentes estadios de crecimiento. Para ello y los siguientes pasos se utilizó el *software* HyperCube v 8.5 (*US Army Topographic Engineering Centre*).

Los cubos de imagen resultantes fueron estudiados mediante análisis de Componentes Principales (PCA). Esta es una técnica de análisis multivariante muy útil para la reducción de datos y simplificación de la estructura de los mismos.

La estrategia del análisis consiste en la obtención de combinaciones lineales no correlacionadas entre sí y que van explicando porcentajes cada vez menores de variación en los datos (Martínez Arias 1999). Las imágenes multibanda pueden entenderse como un cubo de datos (Cattell 1952, Dillon y Goldstein 1984) ya que para cada píxel de cada banda hay varios valores asociados: las coordenadas cartesianas y una tercera coordenada que corresponde a la reflectividad captada por el sensor en ese punto. A partir de la matriz de coeficientes de correlación entre los valores de diferentes bandas de una misma imagen pueden obtenerse nuevos ejes de referencia, perpendiculares entre sí, o lo que es lo mismo, no correlacionados (Shennan 1992), sobre los que representar los datos.

Al aplicar esta técnica a los cubos contruidos con dos bandas correspondientes a dos fechas distintas, puede discriminarse entre la información altamente correlacionada entre las dos bandas y la no correlacionada. El resultado es un nuevo cubo de imagen, también de dos bandas, que expresa en la primera banda (que corresponde con la primera Componente Principal) la información radiométrica repetida en las dos imágenes originales, y en la segunda banda (la correspondiente a la segunda Componente Principal) la información que no se repite en las imágenes originales. Estas dos bandas son asimilables al estadio inicial (banda 1) y al final (banda 2) de una secuencia multitemporal de imágenes. Este enfoque ha

sido utilizado con éxito en teledetección para el estudio de procesos con una marcada componente temporal. Una de las aplicaciones prácticas más extendidas de este enfoque es la cartografía, a partir de imágenes de satélite, de la extensión de incendios forestales (Chuvienco 2002, Heredia *et al.* 2003).

#### *Medición del área colonizada*

Las áreas con pigmento violeta relacionadas con la colonización por un conjunto de especies entre las que se encuentra la cepa C48 de *Streptomyces*, se midieron y compararon utilizando el software ImageJ (*National Institutes of Health*, USA). El procedimiento utilizado consistió en la definición de un umbral para convertir las imágenes de 8 bits en binarias. Utilizando la función *Analyze particles*, las áreas de interés para el análisis se individualizaron y midieron, obteniéndose la medida de la superficie en píxels cuadrados (Figura 4.1.5).

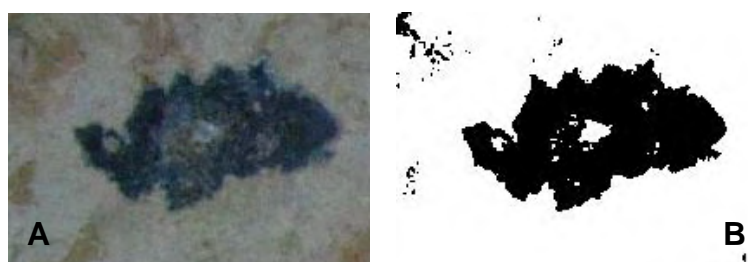


Figura 4.1.5. Medición de áreas en la mancha B1 utilizando ImageJ. A: imagen original; B: Imagen binaria base para la medición. Fuente: elaboración propia.

Aunque esta unidad es, de hecho, adimensional, se consideró un buen enfoque para determinar el crecimiento relativo de las manchas de un estadio a otro. Los valores numéricos, por otra parte, pueden ser fácilmente convertidos a una unidad de medida con significado físico.

#### *4.1.3. Resultados y Discusión*

Las Componentes Principales de los diferentes cubos de imagen se calcularon por el método de la matriz de covarianzas utilizando HyperCube. La Figura 4.1.6 describe los resultados para la mancha A1.

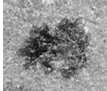
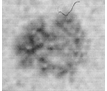
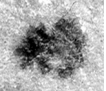
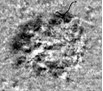
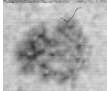
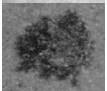
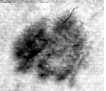
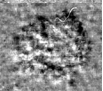
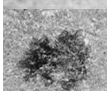
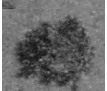
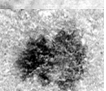
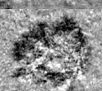
Cubo	banda 1	banda 2	PC 1	PC 2
1997-2002				
2002-2005				
1997-2005				

Figura 4.1.6. Bandas utilizadas en los diferentes cubos de imagen para la mancha A1 y Componentes Principales obtenidas. Fuente: elaboración propia.

Utilizando los métodos anteriormente descritos pudo documentarse cuantitativamente el crecimiento de las distintas manchas así como delimitarse la extensión bidimensional de este crecimiento. Continuando con el ejemplo de la mancha A1, en la Figura 4.1.7 se describe gráficamente su crecimiento durante el período de estudio. El resto de las manchas de las dos áreas de muestreo crecen con un patrón similar.

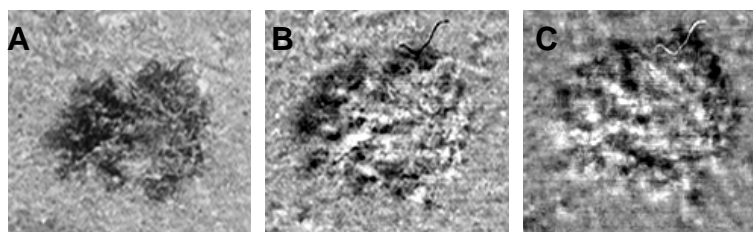


Figura 4.1.7. Evolución del crecimiento de la mancha A1 entre 1997 y 2005. El área colonizada se representa en negro y las zonas no colonizadas en diferentes niveles de gris. A. Estadio inicial (1997); B. Superficie colonizada entre 1997 y 2002; C. Colonización entre 2002 y 2005. Fuente: Elaboración propia.

Las dos áreas, sin embargo crecen a un ritmo diferente. Así, para el área A (Tabla 4.1.2) puede calcularse una tasa de crecimiento anual cercana al 9% para el primer período (1997-2002), que decrece hasta valores cercanos al 4% en el segundo (2002-2005). En el área B, sin embargo, el crecimiento es menor: una tasa media anual de crecimiento para el primer período cercana al 4% y para el segundo en torno al 4,2%. Algunas manchas muestran incluso crecimientos menores. Así, la mancha B2 crece en torno al 2,3% en el primer período y en torno al 0,4% en el segundo.

Tabla 4.1.2. Crecimiento relativo de manchas seleccionadas en el área de muestreo A. Al estadio inicial (1997) se le ha asignado un valor convencional del 100%. Fuente: Elaboración propia.

Mancha	1997	2002	2005
A1	100	141,7301	155,2812
A3	100	151,8507	169,1446
A4	100	141,5502	149,3347
B1	100	130,5286	143,6067
B2	100	111,4019	112,6544

La diferencia entre las tasas de crecimiento de los distintos periodos podría deberse a la disponibilidad de agua. En el primero de los periodos, se contabilizan años con una precipitación en torno a la media anual, mientras que el segundo periodo fueron años con precipitaciones por debajo de la media anual (Figura 4.1.8). La diferencia entre las tasas de crecimiento de las distintas áreas estudiadas podría explicarse por la diferente aireación de las mismas, lo que incidiría en una menor humedad relativa en la zona más aireada. Estos factores son, por ahora, meramente hipotéticos y deberán complementarse con estudios a lo largo de los próximos años para aclarar las exigencias ecológicas de las especies implicadas en la colonización microbiana de las paredes del Mausoleo. Como consecuencia de esta investigación se podría sugerir un efecto directo de fenómenos relacionados con las variables climáticas sobre la conservación de las tumbas romanas estudiadas y su colonización biológica.

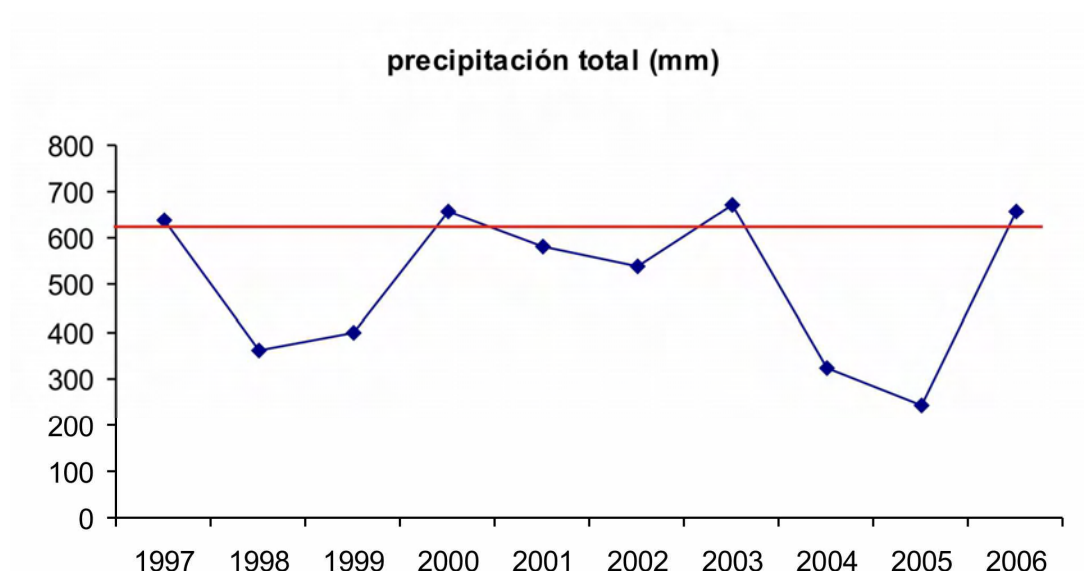


Figura 4.1.8. Precipitación total en el periodo 1997-2006. La línea roja marca la precipitación media anual (Ariño 1996). Fuente: Instituto Nacional de Meteorología. Estación meteorológica Aeropuerto de San Pablo (Sevilla).

#### 4.1.4. Conclusiones

La utilización de técnicas procedentes del campo de la teledetección espacial ha permitido dotar de una dimensión cuantitativa a la monitorización del crecimiento de diversas manchas causadas por la acción bacteriana a lo largo del período de estudio.

Los resultados obtenidos permiten apreciar dos patrones diferenciados de crecimiento coincidentes con los dos ámbitos de estudio señalados y que pueden ser debidos a factores microambientales.

Las técnicas de análisis utilizadas constituyen un medio sencillo y económico para describir procesos con componente temporal y espacial y permiten sentar las bases para la modelización de la evolución de los mismos.

## 4.2 Visualización de motivos rupestres poco contrastados: el abrigo Muriecho L (Colungo, Huesca)

### 4.2.1. Introducción

El abrigo L de Muriecho se abre en las formaciones calizas que flanquean el lecho del barranco de Fornocal, subsidiario del río Vero, en el término municipal de Colungo (Huesca) (Figura 4.2.1). Orientado casi totalmente al S, se trata de una cavidad de 5,60 m de profundidad máxima y una anchura máxima de 17 m (Baldellou *et al.* 2000) (Figura 4.2.2). Las representaciones parietales de este abrigo son exclusivamente de estilo Levantino, distribuyéndose en cuatro paneles situados en la zona más profunda de la oquedad. Algunas de las zonas interiores del abrigo se presentan oscurecidas por el humo de las hogueras de los pastores. El lateral Oeste del abrigo presenta una marcada colonización por cianobacterias, poniendo de manifiesto la circulación del agua de arroyada en periodos de lluvia.

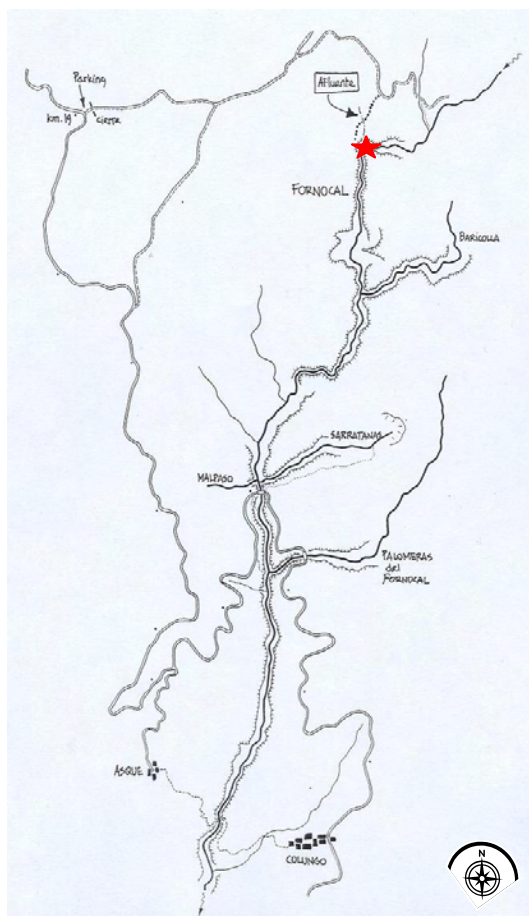


Figura 4.2.1. Situación del abrigo Muriecho L en el Barranco de Fornocal (Colungo, Huesca).  
Fuente: Elaboración propia.



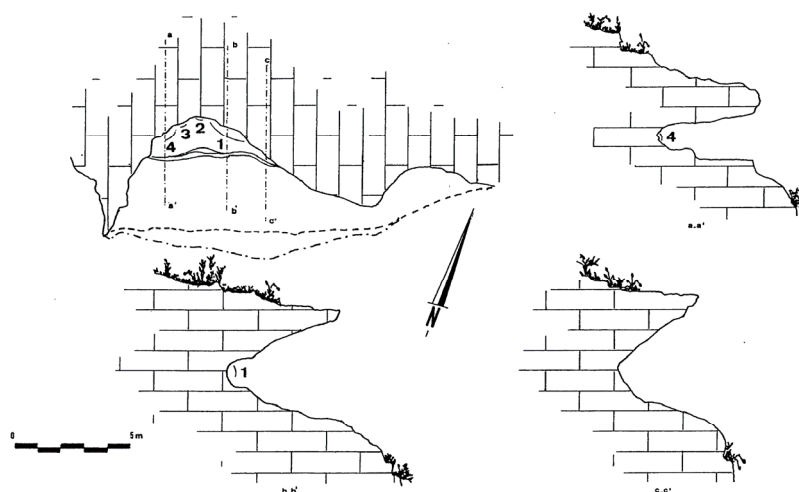


Figura 4.2.2. Planta y alzados de Muriecho L, con la localización de los paneles pintados. Fuente: Baldellou *et al.* (2000).

La detección en este abrigo de colonias microbianas con crecimiento endolítico, motivó el estudio de las mismas para su identificación mediante métodos moleculares, detectándose la presencia de comunidades complejas que incluyen gran cantidad de grupos bacterianos. El conocimiento de estas comunidades y sus interacciones ecológicas representa una contribución importante para gestionar estrategias adecuadas de conservación del abrigo.

Las representaciones levantinas del abrigo L de Muriecho presentaban una visibilidad diferencial bastante importante. Junto a áreas que se veían aceptablemente bien, existían otras en las que los calcos publicados (Baldellou *et al.* 2000) desarrollaban figuras que no se podían apreciar bien a simple vista, ya que el tono general rojizo de la caliza base (rica en óxidos de hierro) hacía confusa la observación de los motivos, pintados asimismo en rojo. Por ello, a partir de varias fotografías de los paneles se realizaron varias operaciones de análisis de imagen para intentar resaltar los motivos figurados con respecto al soporte, inicialmente con la intención de comprobar que las áreas muestreadas no contenían pintura alguna (Figura 4.2.3) que pudiera dañarse en el proceso de toma de muestras biológicas. En este estudio de caso se presentan los resultados preliminares del trabajo con imágenes que corresponden al Panel 1.



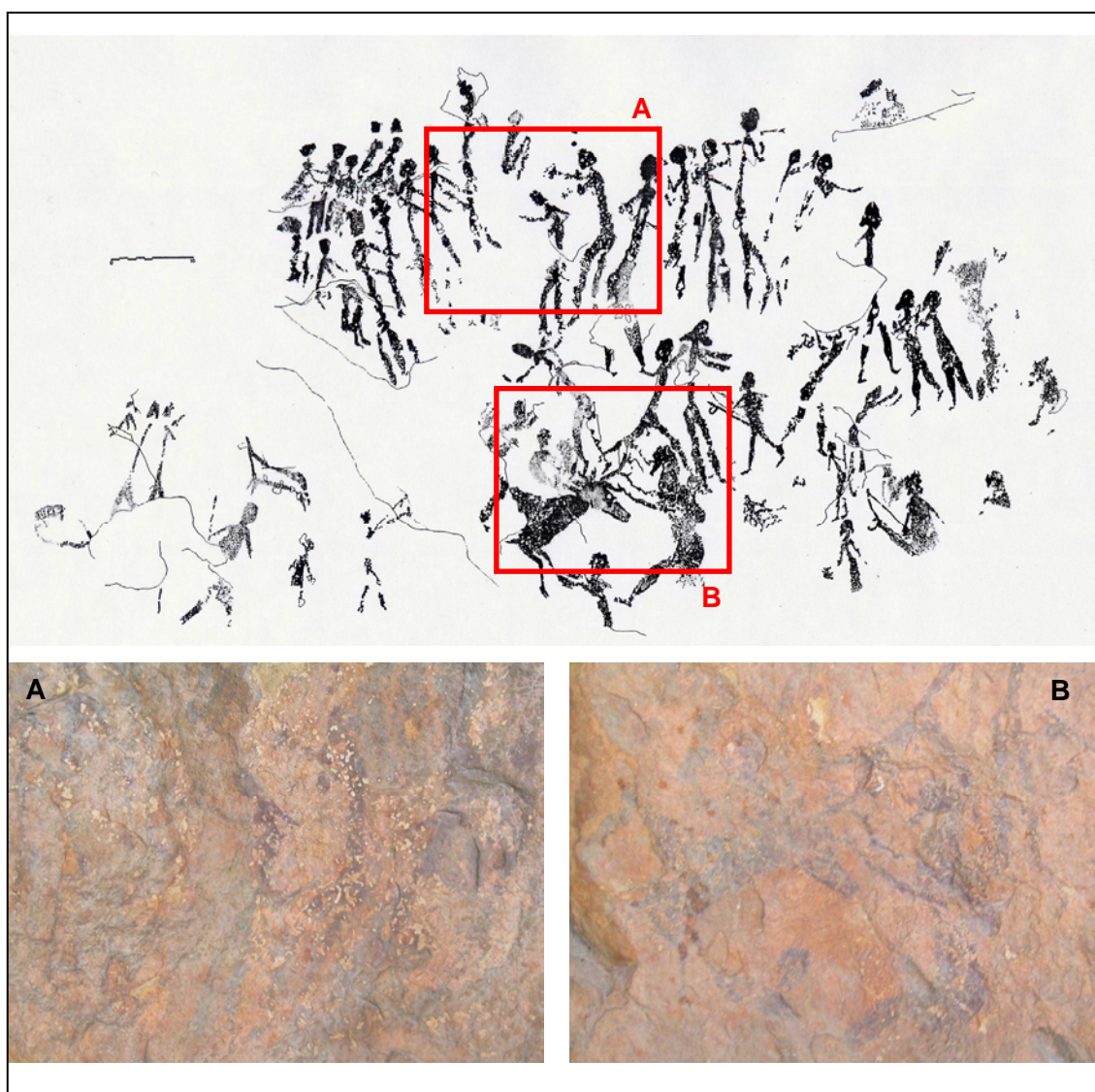


Figura 4.2.3. A y B. Fotografías digitales del Panel 1 de Muriecho L, en relación con el calco general (Baldellou *et al.* 2000). Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Metodología

Puesto que con técnicas de aumento del contraste no se obtuvieron resultados que mejoraran apreciablemente la visibilidad de las pinturas, se decidió elaborar imágenes en falso color a partir de las Componentes Principales de las imágenes originales. El resultado de la aplicación de esta técnica es una serie de pseudobandas (tantas como bandas originales tenga la imagen) que reflejan información decorrelacionada entre sí (Montero Ruiz *et al.* 1998, Vicent García *et al.* 1996). Así, la primera componente principal presentará el mayor porcentaje de información recogido en la imagen, presentando las siguientes porcentajes progresivamente decrecientes de información. El porcentaje de información recogido por cada pseudobanda

viene dado por el autovalor, que corresponde al factor de escala del autovector que define cada uno de los nuevos ejes (Tabla 4.2.1). De esta manera, se consigue eliminar información redundante que, a la hora de examinar las imágenes, se percibe como ruido de fondo. Por otra parte, estudios realizados siguiendo este enfoque han permitido hacer patentes figuras en principio no visibles (Mark y Billo 2006). El cálculo de las Componentes Principales de las imágenes se llevó a cabo de nuevo mediante el paquete HyperCube (*US Army Topographic Engineering Centre*) utilizando el método de la matriz de covarianzas. Este mismo *software* se ha utilizado para la creación de imágenes en falso color. Operaciones adicionales con las imágenes se han efectuado utilizando el *software* ImageJ (*National Institutes of Health, USA*). Ambos paquetes de *software* son de acceso libre vía Internet.

Tabla 4.2.1. Porcentaje de información registrado por cada una de las Componentes Principales de la imagen de la Figura 4.2.3B a partir de sus autovalores. Fuente: elaboración propia.

<b>Componente Principal</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Información registrada (%)</b>
1	643,3665	84,07
2	120,5805	15,76
3	1,319253	0,17

#### 4.2.3. Resultados y discusión

A partir de la imagen de la Figura 4.2.3B, se hallaron las Componentes Principales (3 al partirse de una imagen tribanda). La información recogida en las distintas Componentes Principales (CP) se refleja en la Tabla 4.2.1. En este caso, la segunda Componente Principal es la más pertinente para hacer destacar la pintura con respecto al soporte (Figura 4.2.4), y por ello se compuso una imagen en falso color a partir de la banda roja del visible y dos veces la 2ª CP (Figura 4.2.5).

Con respecto a la Figura 4.2.3A, las componentes principales registraron resultados semejantes a los obtenidos en la imagen anterior. Por ello, para este caso, se quiso probar a constituir una imagen tribanda en falso color a partir de

la 2ª CP, una banda creada a partir de la 2ª CP a la que se le había sustraído el fondo y una tercera banda obtenida al convertir la imagen original de la Figura 2 a escala de grises y posteriormente seleccionar el umbral de gris más oscuro.

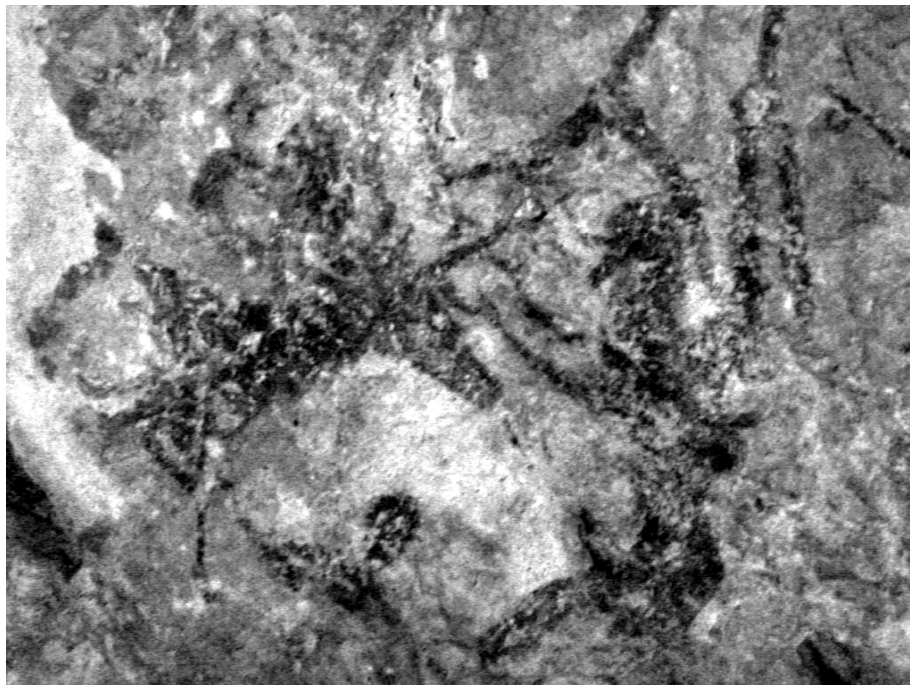


Figura 4.2.4. Segunda Componente Principal de la Figura 4.2.3B. Fuente: elaboración propia.

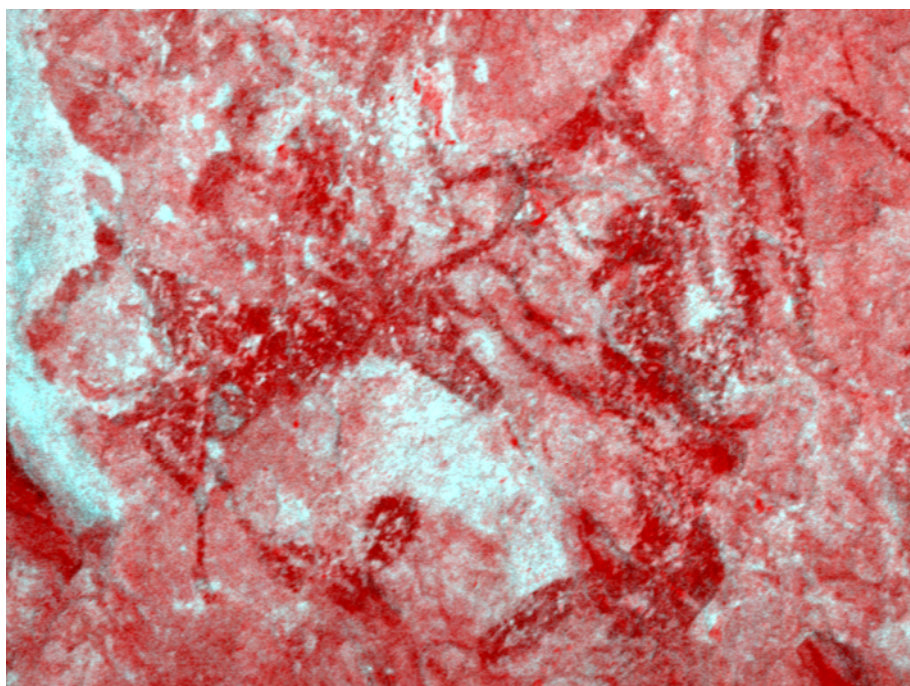


Figura 4.2.5. Imagen obtenida al aplicar el tratamiento digital descrito a la figura 4.2.3B. Fuente: elaboración propia.



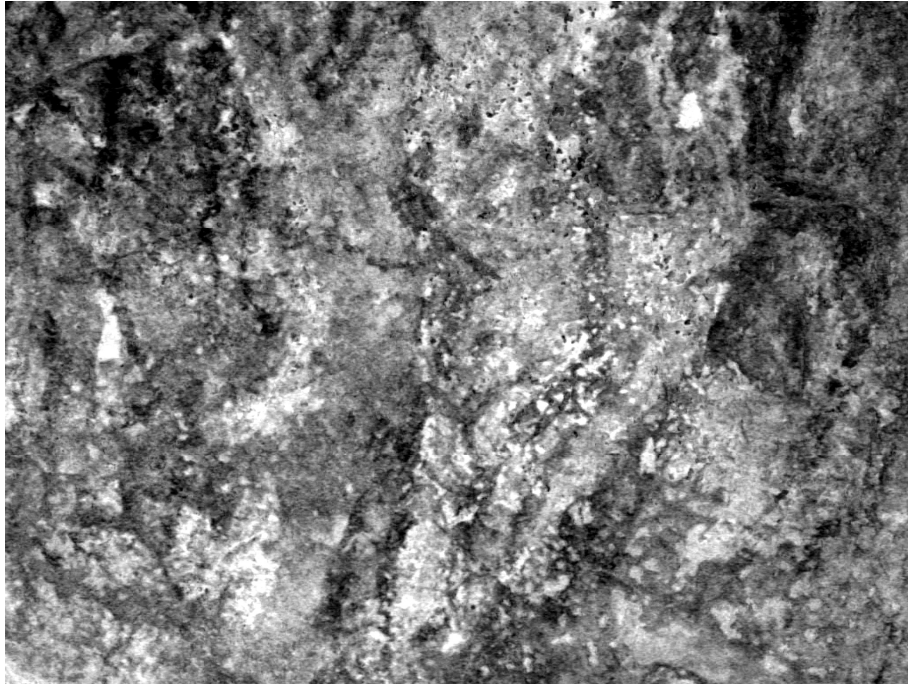


Figura 4.2.6. Segunda Componente Principal de la Figura 4.2.3A. Fuente: elaboración propia.

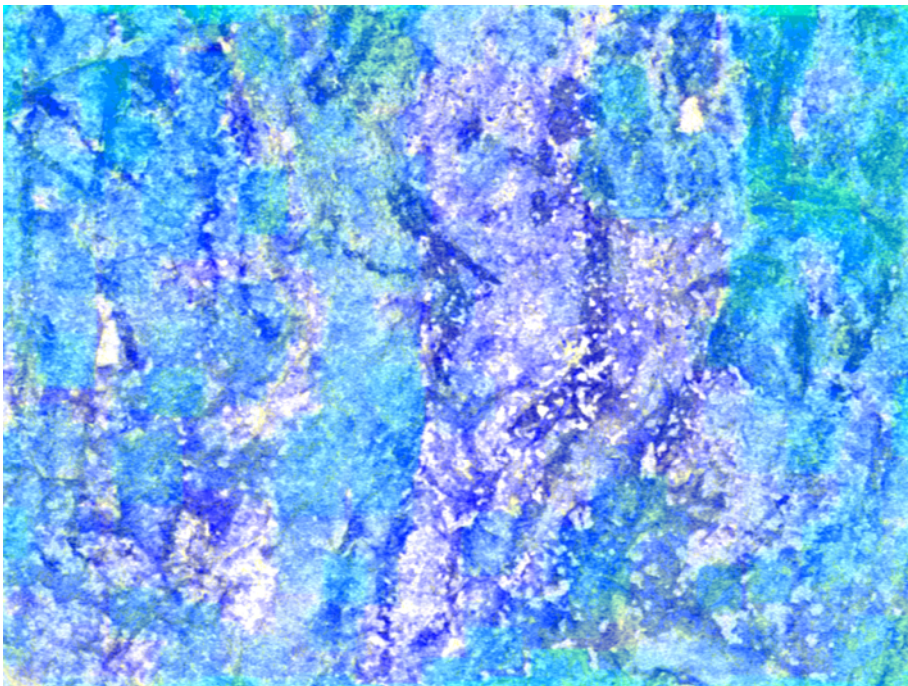


Figura 4.2.7. Imagen obtenida a partir de la Figura 4.2.3A tras aplicar el tratamiento descrito más arriba. Fuente: elaboración propia.

La idea base de esta composición era minimizar la influencia del fondo a la hora de destacar las figuras pintadas. La imagen obtenida puede apreciarse en la Figura 4.2.7.

Ambos tratamientos ejemplifican diversas aproximaciones a la detección de la superficie pintada y han permitido obtener resultados prometedores, si bien, ante toda operación que implique el cambio de los valores de cada píxel es preciso volver a contrastar los resultados con los motivos originales puesto que cabe la posibilidad de producir artefactos que estén falseando los resultados.

El calco publicado de este panel (Baldellou *et al.* 2000), obtenido por medios tradicionales, permite reflejar el conjunto del panel y su contexto de manera adecuada, pero su modo de realización, demasiado basado en la capacidad de observación del investigador, no muestra algunos detalles que se hacen evidentes utilizando técnicas de análisis digital de imagen. Las discrepancias más claramente apreciables se numeran en la Figura 4.2.8.



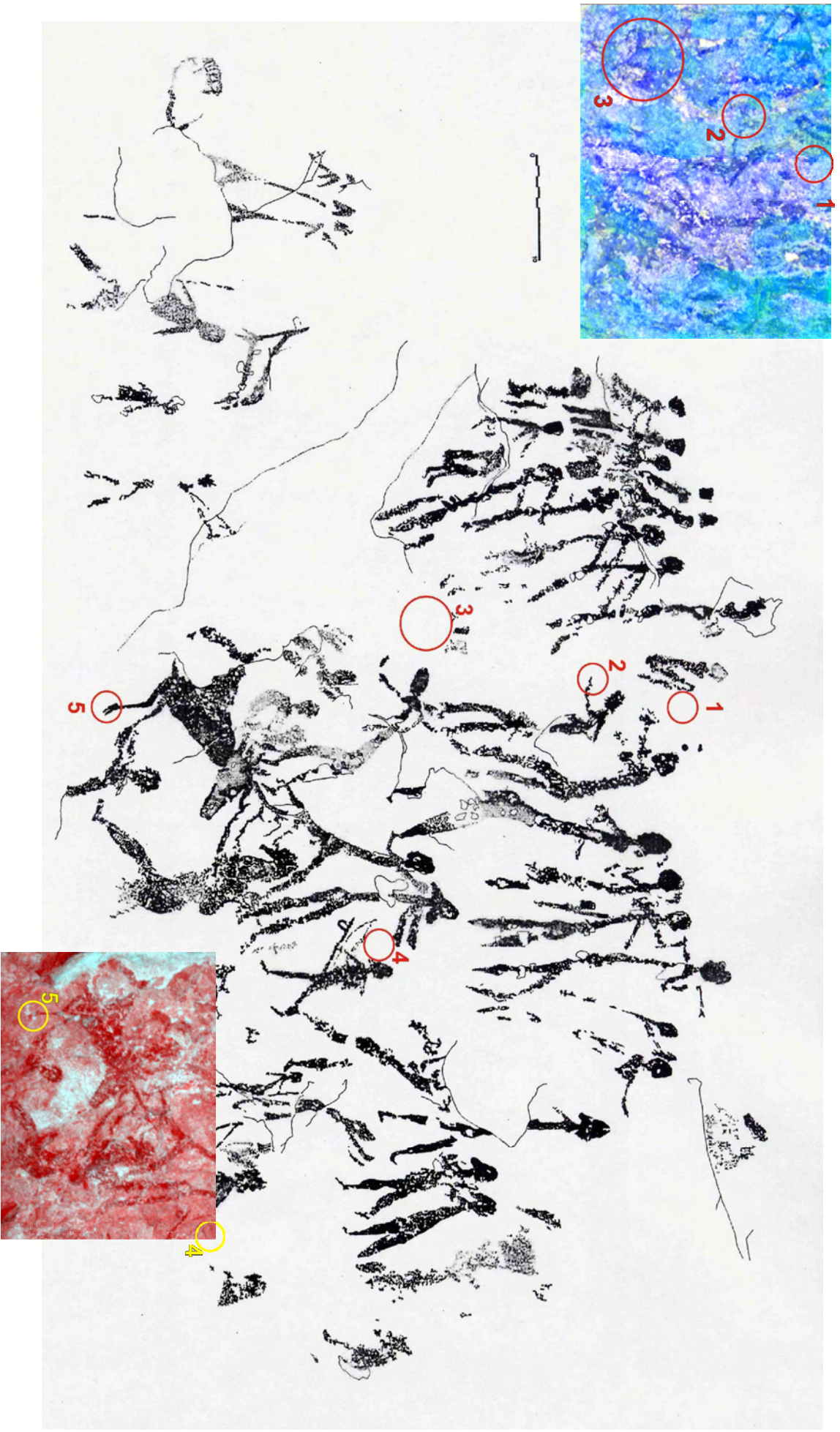


Figura 4.2.6. Discrepancias entre el calco original del Panel 1 de Muriecho L y las imágenes obtenidas en el presente trabajo

Las principales discrepancias observadas y señaladas en la Figura 4.2.6 son:

1. Presencia de un posible personaje no recogido en el calco
2. El personaje porta un instrumento similar al que lleva en su mano la figura que se sitúa inmediatamente a su derecha
3. Posible figura zoomorfa no reflejada en el calco
4. Líneas junto al arco no reflejadas en el calco
5. Pérdida de pintura en la pezuña del cérvido, así como carácter no bisulco de la misma.

Estas discrepancias deben contrastarse con nuevas fotografías del panel, de cara a dilucidar si se trata de resultados fidedignos o de artefactos obtenidos en el proceso de análisis de los datos. En este sentido hay que reseñar que el personaje que sostiene las cuernas al cérvido aparece con una forma fálica que ha podido identificarse como producto de una sombra en el fotograma.

#### 4.2.4. Conclusiones

El análisis de imagen por medio de procedimientos estadísticos permite apreciar motivos no visibles a simple vista en imágenes altamente correlacionadas, si bien es necesaria una amplia contrastación de los resultados obtenidos, de cara a evitar imágenes que conduzcan a interpretaciones erróneas de los paneles.

El análisis de las imágenes que se ha realizado confirma, en líneas generales, la fiabilidad del calco publicado.





## **5. Conclusiones**



Las premisas básicas que se han manejado a lo largo de este trabajo pueden resumirse en las afirmaciones que siguen:

Las manifestaciones artísticas rupestres no se nos muestran en ningún caso aisladas, sino insertas en sistemas naturales complejos. De las interacciones entre los distintos elementos del sistema depende su conservación. En estos sistemas siempre está implicada una parte biótica y otra abiótica.

Por otra parte, las manifestaciones artísticas rupestres que han llegado hasta nuestros días lo han hecho porque el sistema en el que se encuadran ha sido lo suficientemente estable como para permitir la conservación de las manifestaciones culturales. Como contrapartida, aquellos sistemas que no han mantenido la estabilidad inicial o que a lo largo del tiempo mostraron una naturaleza inestable, no han permitido que una parte del arte rupestre llegue a nuestros días.

Por nuestra parte, el trabajo realizado nos permite establecer las siguientes conclusiones:

1.- Los métodos de documentación empleados habitualmente no hacen énfasis en el conocimiento del sistema, sino sólo de uno de sus elementos. La información obtenida mediante estos métodos no es, así, aprovechable para el diseño de estrategias de conservación de estas manifestaciones culturales.

2.- Si se quiere que la documentación del arte rupestre pueda cumplir el doble objetivo de registrar las manifestaciones culturales y contribuir a su conservación debe hacerse hincapié en una aproximación documental integral. El registro de la dimensión espacial de los distintos elementos del sistema cobra una especial relevancia ya que la interacción entre estos es función de sus posiciones relativas.

3.- El ser humano es un elemento más del sistema y su influencia en el mismo puede ser directa o indirecta, pero casi siempre determinante. Del estudio de los métodos de documentación utilizados tradicionalmente se infiere

que los especialistas o investigadores pueden ser tanto o más peligrosos para la conservación de las manifestaciones parietales que los turistas o los desaprensivos.

4.- Las técnicas empleadas para la documentación de las manifestaciones artísticas rupestres deben ser lo más inocuas posible, para poder garantizar la conservación de los bienes documentados. Por todos los medios deben rehuirse procedimientos de documentación que alteren las condiciones ambientales del sistema o que degraden alguno de sus elementos.

5.- Los métodos de documentación revisados en este trabajo pueden ordenarse en dos grupos: por una parte, aquellos en los que no existe contacto directo con el bien a documentar (dibujo a mano alzada, fotografía analógica, fotogrametría analógica); por otra, los que implican un contacto directo con el mismo (calco directo, calco por frotación o moldeado directo). La división es algo artificial ya que, de alguna manera, todos acaban produciendo un contacto con el bien cultural, aunque los del segundo grupo son los más peligrosos para la conservación.

6.- Los métodos de documentación del segundo grupo implican una posibilidad muy real de deterioro de los paneles, al poder llegar a causar daños irreversibles que pueden desembocar en la destrucción del bien.

7.- Algunas prácticas, si bien no directamente implícitas en la mayoría de los métodos de documentación, son utilizadas ampliamente en trabajos previos tales como las limpiezas mecánicas, el humedecimiento de los paneles o el pintado de petroglifos, lo que las convierte en muy agresivas para la conservación del bien. Estas prácticas pueden además hacer imposible otro tipo de análisis tales como los necesarios para la datación directa o para la caracterización de pigmentos o ligantes utilizados en la pintura.

8.- El análisis de las imágenes construidas a partir de los datos captados mediante sensores remotos se revela como una alternativa no invasiva, fiable y de bajo coste para la documentación integral del arte rupestre.

9.- Los datos de tipo multiespectral permiten caracterizar las distintas cubiertas mejor que los basados sólo en el rango de longitudes de onda visibles por el ojo humano, ya que cubiertas que presentan una misma apariencia a estas longitudes de onda, pueden ser totalmente diferentes en otros intervalos.

10.- La naturaleza de las imágenes obtenidas mediante sensores remotos permite obtener datos espaciales, pero también valores cuantitativos.

11.- El análisis de Componentes Principales en particular, permite visualizar elementos no visibles a simple vista en imágenes altamente correlacionadas o utilizarse para la monitorización de las componentes espacial y temporal de elementos del sistema natural en el que se encuadran las manifestaciones rupestres. Al mismo tiempo, permite una clasificación fiable de las cubiertas incluidas en la imagen ya que no elimina los datos de la misma, sino que tan sólo se cambian los ejes sobre los que se representa.

12.- La aplicación en este trabajo de técnicas de análisis de imagen, originalmente diseñadas para otros fines, a la documentación de cubiertas bióticas o abióticas de relevancia arqueológica, constituye una aportación novedosa no sólo por el hecho mismo de su aplicación, sino por el desarrollo e implementación de protocolos originales adaptados a la resolución de los distintos casos prácticos.

13.- Un resultado práctico destacable de la elaboración de este trabajo, es el desarrollo de un protocolo para la monitorización de unas manchas de origen microbiano utilizando análisis de imagen, que ha permitido evaluar su crecimiento en función de parámetros microambientales y registrar su componente espacial.

14.- Como segundo resultado práctico a destacar, se ha examinado en un abrigo con arte rupestre una aplicación de técnicas de análisis de imagen que ha permitido, por una parte, la evaluación de la calidad de unos calcos

elaborados con métodos tradicionales así como, por otra, la mejora en la visualización de las figuras y la detección de elementos no registrados por estos mismos calcos.

## **Bibliografía**





- Almagro, A. (2002). Técnicas infográficas en el estudio del Patrimonio Cultural. En A. Ruiz Conde y P.J. Sánchez Soto (eds.) *Técnicas instrumentales y su aplicación al estudio del Patrimonio Histórico y Cultural*: 19 p. Sevilla: CSIC.
- Almagro Basch, M. y Almagro Gorbea, M. (1968). *Estudios de arte rupestre nubio. I. Yacimientos situados en la orilla oriental del Nilo, entre Nag Kolorodna y Kars Ibrim (Nubia egipcia)*. Madrid: Memorias de la Misión Arqueológica Española en Egipto, X.
- Ariño, X. (1996). *Estudio de la colonización, distribución e interacción de líquenes, algas y cianobacterias con los materiales pétreos de los conjuntos arqueológicos de Baelo Claudia y Carmona*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.
- Arcà, A. (2000). Computer management of alphanumeric and visual data in the Alpine rock art (Valcamonica – Valtelina – Western Alps). *Arkeos. Perspectivas em diálogo* 7: 55-74.
- Ashelford, K.E., Day, M.J. y Fry, J.C. (2003). Elevated abundance of bacteriophage infecting bacteria in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 285-289.
- Attas, M., Cloutis, E., Collins, C., Goltz, D., Majzels, C., Mansfield, J.R. y Mantsch, H.H. (2003). Near-infrared spectroscopic imaging in art conservation: investigation of drawing constituents. *Journal of Cultural Heritage* 4 : 127-136.
- Aujoulat, N. (1987). *Le relevé des oeuvres pariétales paléolithiques. Enregistrement et traitement des données*. Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Bak, F. y Widdel, F. (1986). Anaerobic degradation of phenol and phenol derivatives by *Desulfobacterium phenolicum* sp. nov. *Archives of Microbiology* 146: 177-180.

- Baldellou, V., Ayuso, P., Painaud, A. y Calvo, M.J. (2000). Las pinturas rupestres de la partida de Muriecho (Colungo y Bárcabo, Huesca). *Bolskan* 17: 33-86.
- Baronti, S., Casini, A., Lotti, F. y Porcinai, S. (1997). Principal component analysis of visible and near-infrared multispectral images of works of art. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 39: 103-114.
- Bednarik, R.G. (1988). The chalking of petroglyphs: a response. *La Pintura XV* (2-3): 12-13.
- Bednarik, R.G. (2001). *Sobre la práctica de tizar y resaltar petroglifos*. [En línea: <http://rupestreweb.tripod.com/tizado.html> consulta 10/11/2006].
- Bednarik, R.G. y Seshadri, K. (1995). Digital colour re-construction in rock art photography. *Rock Art Research* 12(1): 42-51.
- Beltrán, A. (1981). Métodos de trabajo sobre el terreno en el arte rupestre. *Caesaraugusta* 53-54: 133-137.
- Benito, G., Machado, M.J. y Sancho, C. (1993). Sandstone weathering processes damaging prehistoric rock paintings at the Albarracín Cultural Park, NE Spain. *Environmental Geology* 22: 71-79.
- Berberan, A.L. (1999). Semi-automatic correction of digital images of flat objects. En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c805.pdf> consulta: 10/10/2006]
- Berthelin, J. (1983). Microbial weathering processes. En W.E. Krumbein (ed.) *Microbial geochemistry*. 223-262. Oxford: Blackwell.

- Brayer, J.M., Walt, H. y David, B. (1999). Quantitative assessment of rock art recording. *Tracce* 11. [En línea: <http://www.rupestre.net/tracce/newport.html> consulta 03/08/2006].
- Bueno, P. y Balbín, R. de (2003). Una geografía cultural del arte megalítico ibérico: las supuestas áreas marginales. En R. de Balbín y P. Bueno (eds.) *Primer Symposium internacional de Arte Paleolítico de Ribadesella. El arte prehistórico desde los inicios del siglo XXI*: 13-22. Ribadesella (Asturias).
- Bueno, P. y Balbín, R. de (2006). Arte megalítico en la península Ibérica: contextos materiales y simbólicos para el arte esquemático. En J. Martínez García y M.S. Hernández Pérez (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre Esquemático en la Península Ibérica. Comarca de Los Vélez, 5-7 de mayo 2004*: 57-84. Vélez-Blanco (Almería).
- Bueno, P., Balbín, R. de, Diaz-Andreu, M. y Aldecoa, A. (1998). Espacio habitacional / espacio gráfico. Grabados al aire libre en el término de La Hinojosa (Cuenca). *Trabajos de Prehistoria* 55(1): 101-120.
- Bueno, P., Balbín, R. de, Barroso, R., Alcolea, J.J., Villa, R. y Moraleda, A. (1999). *El dolmen de Navalcán. El poblamiento megalítico en el Guadyerbas*. Toledo: Servicio de Arqueología de la Diputación de Toledo.
- Carrera Ramirez, F. (2002). La protección del arte prehistórico ibérico, ¿misión imposible? *ArqueoWeb* 4(3). [En línea: [http://www.ucm.es/info/arqueoweb/numero4\\_3/articulo4\\_3\\_proteccionarte.html](http://www.ucm.es/info/arqueoweb/numero4_3/articulo4_3_proteccionarte.html) consulta 21/09/2006].
- Carrera Ramírez, F. (2006). Conservación de monumentos megalíticos y arte parietal en el noroeste peninsular. En F. Carrera y R. Fábregas (eds.) *Arte parietal megalítico en el noroeste peninsular. Conocimiento y conservación*: 263-292. Santiago de Compostela: Tórculo Edicions.
- Cattell, R.B. (1952). *Factor Analysis*. New York: Harper.

- Cetica, M., Marras, L., Materazzi, M. y Poggi, P. (2002). Tecniche di imaging multispettrale. En A. Castellano, M. Martini y E. Sibilía (eds.) *Elementi di Archeometria. Metodi fisici per i Beni Culturali*: 205-226. Milano: Egea.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel.
- Clogg, P., Diaz-Andreu, M. y Larkman, B. (2000). Digital image processing and the recording of rock art. *Journal of Archaeological Science* 27: 837-843.
- Clottes, J. (1993). Documentation, recherche, publication et conservation. La collaboration internationale. Document de travail pour la discussion de la Table. En J. Fortea (ed.) *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991*: 165-167. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.
- Cruz Berrocal, M., Gil-Carles Esteban, J.M., Gil Esteban, M. y Martínez Navarrete, M.I. (2005). Martín Almagro Basch, Fernando Gil Carles y el Corpus de Arte Rupestre Levantino. *Trabajos de Prehistoria* 62(1): 27-45.
- Derpsch, R. (2005). *Entender el proceso de la erosión y de la infiltración del agua en el suelo*. [En línea: <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html> Consulta: 11/07/2006].
- Diaz-Andreu, M., Brooke, C., Rainsbury, M. y Rosser, N. (2006). The spiral that vanished: the application of non-contact recording techniques to an elusive rock art motif at Castlerigg stone circle in Cumbria. *Journal of Archaeological Science* 33: 1580-1587.
- Dillon, W.R. y Goldstein, N. (1984). *Multivariate analysis: Methods and applications*. New York: Wiley.

- Dobbins, J.J. (1982). A new method for the photographic recording of architectural cuttings and dressings. *American Journal of Archaeology* 86(4): 584-856.
- Domingo Sanz, I. y López Montalvo, E. (2002). Metodología: el proceso de obtención de calcos o reproducciones. En R. Martínez Valle y V. Villaverde Bonilla (eds.) *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*: 75-81. Tirig: Museu de la Valltorta (Monografías del Instituto de Arte Rupestre 1).
- Dubal, L. (1995). Tactigraphy, a new method for recording prehistorical rock engravings. *International Newsletter on Rock Art* 10: 22-24.
- Dubal, L., Larrey, M. y Maffesoli, G.B. (1993). La tactigraphie: une méthode innovatrice dans l'art de l'estampage. En *Valcamonica Symposium 1993, 6-11 ottobre, Temù, Italia*. [En línea: <http://larrey.monique.neuf.fr/vcs93.pdf> consulta 10/11/2006].
- Ehrlich, H.L. (1981). *Geomicrobiology*. New York: Marcel Dekker.
- Fossati, A. (1997). Rupestrian archaeology. *Tracce* 6. [En línea: <http://www.rupestre.net/tracce/rupearch.html> consulta 02/08/2006].
- Fossati, A. y Arcà, A. (1997). Tracing the past. Petroglyph reproduction for rupestrian archaeology. *Tracce* 7. [En línea: <http://www.rupestre.net/tracce/tracing.html> consulta 03/08/2006].
- Fussell, A. (1982). Terrestrial photogrammetry in Archaeology. *World Archaeology* 14(2): 157-172.
- García-Rowe, J. y Saiz-Jiménez, C. (1988). Colonization of mosaics by lichens: the case study of Itálica. *Studia Geobotanica* 8: 65-71.
- Garth Sampson, C. (1973). Ndedema: A documentation of the rock paintings of the Ndedema Gorge. *American Anthropologist New Series* 75(4): 1071-1072.

- Gillespie, A.R., Kahle, A.B. y Walker, R.E. (1986). Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI contrast stretches. *Remote Sensing of Environment* 20: 209-235.
- Gillespie, A.R., Kahle, A.B. y Walker, R.E. (1987). Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques. *Remote Sensing of Environment* 22: 343-365.
- González, A. y Alvarado, M. (1993). Nuevas pinturas rupestres en Extremadura. Pintura naturalista en el entramado esquemático de las Villuercas (Cáceres). *Revista de Arqueología* 143: 18-25.
- Hall, K., Lindren, B.S. y Jackson, P. (2005). Rock albedo and monitoring of thermal conditions in respect of weathering: some expected and some unexpected results. *Earth Surface Processes and Landforms* 30: 801-811.
- Hall, K., Micklejohn, I. y Arocena, J. (2007). The thermal responses of rock art pigments: Implications for rock art weathering in southern Africa. *Geomorphology* (en prensa).
- Hedden, M. (1958). "Surface printing" as a means of recording petroglyphs. *American Antiquity* 23(4): 435-439.
- Hemmleb, M. (1999). Digital rectification of historical images. En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c806.pdf> consulta: 30/10/2006].
- Heredia, A., Martínez, S., Quintero, E., Piñeros, W. y Chuvieco, E. (2003). Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LANDSAT ETM+. *Geofocus* 3: 216-234.

Hernández Pacheco, E. (1924). *Las pinturas prehistóricas de las cuevas de La Araña (Valencia)*. Madrid: Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.

Hoyos, M., Soler, V., Fortea, J. (1993). La cueva de la Peña de Candamo (Asturias): primeros resultados microclimáticos. En J. Fortea (ed.) *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991*: 77-85. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.

Hoyos, M., Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S., Sanz-Rubio, E., Blanco-Varela, M.T., Puertas, F., Palomo, A., Saiz-Jimenez, C. y Ariño, X. (1996). *Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Peñas Cabreras y Tajo de las Figuras*. Estudio diagnosis de los conjuntos y yacimientos arqueológicos de la Comunidad Autónoma Andaluza en su contexto geomorfológico, biológico y climático IV. Informe para la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Hoyos, M., Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S., Sanz-Rubio, E., Blanco-Varela, M.T., Puertas, F., Palomo, A., Saiz-Jimenez, C. y Ariño, X. (1997). *Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Atlanterra y Alemanes (Cadiz) y de los Letreros (Almeria)*. Estudio diagnosis de los conjuntos y yacimientos arqueológicos de la Comunidad Autónoma Andaluza en su contexto geomorfológico, biológico y climático V. Informe para la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Hoyos, M., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sanchez-Moral, S. y Sanz-Rubio, E. (1998). Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental Geology* 33: 231-242.

Huppert, G., Burri, E., Forti, P. y Cigna, A. (1993). Effects of tourism development on caves and karst. En P.W. Williams (ed.) *Karst terrains*,

*environmental changes, human impact*. 251-268. Cremlingen: CATENA Supplement 25.

Iakovleva, L. (2002). Un essai de formalisation des études sur l'art paléolithique pour la connaissance des sociétés préhistoriques. *Archeologia e Calcolatori* 13: 31-40 (XIV Congress of the International Union of Prehistoric and Protohistoric Sciences [Liege – Belgium – September 2001]. Commission IV Data Management and Mathematical Methods in Archaeology. Proceedings of Symposia 1.3, 1.5, 1.8, 1.10)

Joly, F. (1988). *La cartografía*. Barcelona: Oikos-Tau.

Kolber, J. (1997). Scale drawings of the Vale de Vermelhosa engravings. *Tracce* 6. [En línea: <http://www.rupestre.net/tracce/coatrac.html> consulta 03/08/2006].

Karras, G.E. y Petsa, E. (1999). Metric information from uncalibrated single images. En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c802.pdf> consulta: 10/10/2006]

Kormondy, E.J. (1969). *Concepts of ecology*. New Jersey: Prentice Hall.

Krumbein, W.E. (ed.) (1983). *Microbial geochemistry*. Oxford: Blackwell.

Laiz, L., González, J.M., Jurado, V., Hermosín, B. y Saiz-Jimenez, C. (2002). Biodeterioro de las tumbas romanas de la necrópolis de Carmona (Sevilla). En *Libro de resúmenes de la 2ª Reunión de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural "Conservación del Patrimonio y conocimiento histórico"*. Madrid, 17 de diciembre de 2002: 15-16. Madrid: RTPHC.

Laiz, L., González, J.M., Jurado, V., Portillo, M.C. y Saiz-Jimenez, C. (2005). Biodeterioration of the walls of a Roman tomb by *Streptomyces* sp.: Eight years follow-up of microbial colonization. En A.M. García y D.A. Moreno



(eds.) *13th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium. Madrid, 4-9 September, 2005. Abstracts Book*: 99. Madrid: IBBS.

Lerma, J.L. (2001). Documentation and recovery of rupestrian paintings: an automatic approach. En *CIPA International Symposium "Surveying and documentation of historic buildings, monuments, sites - Traditional and modern methods", Potsdam, Germany, Sep. 18-21, 2001*. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-09-jl02.pdf> consulta: 20/09/2006].

Lerma, J.L., Villaverde, V., García, A. y Cardona, J. (2006). Close range photogrammetry and enhanced recording of Palaeolithic rock art. En H.-G. Maas y D. Schneider (eds.) *International Archives on Photogrammetry and Remote Sensing XXXVI, Part 5*: 147-154. Lemmer (NL): International Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

Lillo, J., López, M.T., Redonet, L.F., Robles, F. y Usera, J.M. (1982). *Geología*. Valencia: ECIR.

López Fernández, O. y Pereira Uzal, J.M. (s.f.). *La reproducción de los grabados rupestres como un método de conservación y divulgación urgente. Una propuesta de estudio y utilización de diversos materiales*. [En línea: [http://usuarios.lycos.es/arqueo/conserva\\_restaura/art\\_2.htm](http://usuarios.lycos.es/arqueo/conserva_restaura/art_2.htm) consulta 21/09/2006].

López Montalvo, E. y Domingo Sanz, I. (2005). Nuevas tecnologías y restitución bidimensional de los paneles levantinos: primeros resultados y valoración crítica del método. En P. Arias Cabal, R. Ontañón Pendo, C. García-Moncó Piñeiro y L.C. Teira Mayolini (eds.) *Actas del III Congreso del Neolítico en la Península Ibérica. Santander, 5 a 8 de Octubre de 2003*: 719-728. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

Lovelock, J.E. (1979). *Gaia. A new look at life on earth*. Oxford: Oxford University Press.

- Margalef, R. (1982). *Ecología*. Barcelona: Omega.
- Mark, R. y Billo, E. (1999). A stitch in time: Digital panoramas and mosaics. En S.M. Freers (ed.) *American Indian Rock Art* 25: 155-168. Ridgecrest (CA): American Rock Art Research Association.
- Mark, R. y Billo, E. (2002). Application of digital image enhancement in rock art recording. En F. Taboada y M. Strecker (eds.) *Actas de la Sección 1 del V Simposio Internacional de Arte Rupestre, Tarija, Sept. 2000*: 142-153. (Contribuciones al Estudio del Arte Rupestre Sudamericano 6).
- Mark, R. y Billo, E. (2006). Computer-assisted photographic documentation of rock art. *Coalition* 11: 10-14.
- Martínez Arias, R. (1999). *El análisis multivariante en la investigación científica*. Madrid: La Muralla/Hespérides (Cuadernos de Estadística nº 1).
- Mawk, E.J. y Rowe, M.W. (1998). Effect of water on Lower Pecos River rock paintings in Texas. *Rock art Research* 15: 12-16.
- Moneva Montero, M.D. (1993). Primeros sistemas de reproducción de Arte Rupestre en España. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología* 6: 413-442.
- Monje Arenas, L. (1992). *Curso de fotografía*. [En línea: <http://www.difo.uah.es/curso/> consulta: 09/10/2006].
- Montero Ruiz, I., Rodríguez Alcalde, A.L., Vicent García, J.M. y Cruz Berrocal, M. (1998). Técnicas digitales para la elaboración de calcos de arte rupestre. *Trabajos de Prehistoria* 55(1): 155-169.
- Moure, A. (1993). Investigación y conservación. En J. Fortea (ed.) *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda*

*hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991: 175-180.*  
Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.

Novoa Álvarez, P. (1995). Nuevos aportes del arte rupestre gallego. *Revista de Arqueología* 168: 6-15.

Pereira Uzal, J.M. y López Fernández, O. (2003). Moldeo sobre materiales porosos: uso de siliconas e hidrocoloides como medio de protección. Propuestas para un moldeo seguro. *Restauración & Rehabilitación* 78: 56-59.

Portillo, M.C. (2007). *Aplicación de técnicas basadas en ADN y ARN al estudio de la diversidad microbiana en la cueva de Altamira (Cantabria, España)*. Sevilla: CSIC.

Portillo Guisado, M.C., Rogerio Candelera, M.A., González Grau, J.M. y Sáiz Jimenez, C. (2007). Estudios preliminares de la diversidad microbiana y análisis de imagen de las manifestaciones parietales en los abrigos de Fuente del Trucho y L de Muriecho (Colungo, Huesca). En M. García Vuelta, I. Montero Ruiz y S. Rovira Llorens (eds.) *VII Congreso Ibérico de Arqueometría. Libro de Resúmenes*: 88. Madrid: Instituto de Historia.

Pohorecky, Z.S. y Jones, T.E.H. (1966). Recording pictographs. *Man New Series* 1(1): 104.

Pohorecky, Z.S. y Jones, T.E.H. (1967). Recording rock paintings. *Man New Series* 2(2): 305-306.

Rey, P. y Soto, M.J. (1996). Una metodología de estudio para petroglifos. Resultados en Laxe da Sartaña. *Gallaecia* 14-15: 197-221.

Rip, M.R. (1983). Digital recording and image processing of rock art by computer. *South African Archaeological Bulletin* 38: 77-79.

Rip, M.R. (1989). Colour space transformations for the enhancement of rock art images by computer. *Rock Art Research* 6(1): 12-14.

Rogelio Candelera, M.A. (2007). El análisis de imágenes multiespectrales como herramienta para la documentación del arte rupestre. *Marie Curie Research Training – II Curso de Conservación del Patrimonio. Sevilla, 12-16 Marzo 2007*. Comunicación oral.

Rogelio Candelera, M.A., Laiz Trobajo, L., González Grau, J.M. y Sáiz Jiménez, C. (2007 a). Aplicación de técnicas de análisis de imagen a la monitorización de la colonización microbiana en una tumba de la Necrópolis de Carmona. En A. Ventosa y C. Sánchez-Porro (eds.) *XXI Congreso Nacional de Microbiología*: P-300. Sevilla: Sociedad Española de Microbiología / Universidad de Sevilla.

Rogelio Candelera, M.A., Laiz Trobajo, L., González Grau, J.M. y Sáiz Jiménez, C. (2007 b). Monitorización del crecimiento microbiano en una tumba romana mediante técnicas de teledetección. En M. García Vuelta, I. Montero Ruiz y S. Rovira Llorens (eds.) *VII Congreso Ibérico de Arqueometría. Libro de Resúmenes*: 65. Madrid: Instituto de Historia.

Rogelio-Candelera, M.A., Laiz, L., Gonzalez, J.M. y Saiz-Jimenez, C. (2007 c). Monitoring the growth of microbial stains in a Roman tomb by means of remote sensing techniques. *Journal of Cultural Heritage* (enviado).

Ruiz, L.A. (1994). *Introducción al tratamiento digital de imágenes*. Valencia: Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica.

Saiz-Jimenez, C. y Samson, R.A. (1981). Biodegradación de monumentos. Hongos implicados en la degradación de los frescos de Vázquez Díaz, Monasterio de la Rábida, Huelva. *Botánica Macaronésica* 2-9: 255-264.

- Saiz-Jimenez, C. (1982). Causas del deterioro de los murales de Daniel Vázquez Díaz, Monasterio de Santa María de la Rábida, Huelva. *Mundo Científico* 18: 1007-1011.
- Saiz-Jimenez, C. (1988). Informe sobre la piedra y su tratamiento. En A. Jiménez y J.M. Cabeza (eds.) *"Turris Fortissima". Documentos sobre la construcción, acrecentamiento y restauración de la Giralda*: 135-144. Sevilla: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.
- Sanchez-Moral, S., Soler, V., Bedoya, J. y Cañaveras, J.C. (2002). Monitorización en continuo de parámetros microambientales en sistemas kársticos someros. Aplicación a la conservación del arte prehistórico (Cueva de Altamira, España). En C. Sáiz Jiménez y H.A. Videla (eds.) *Biodeterioro de monumentos de Iberoamérica*: 109-123. Sevilla: CYTED.
- Sanchidrián, J.L. (1987). Reproducción del arte rupestre. En *Arte rupestre en España*: 123-125. Madrid: Zugarto (Monografías de Revista de Arqueología).
- Schoonraad, M. (1968). Recording rock painting. *Man New Series* 3(2): 315-316.
- Schuhr, W. y Kanngieser, E. (1999). Single images in conservation. En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c803.pdf> consulta: 10/10/2006].
- Schuhr, W. y Kanngieser, E. (2001). Modern methods for using single images in conservation. En *XVIII CIPA International Symposium. Potsdam, Germany*. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-13-ws01.pdf> consulta: 30/10/2006].
- Schuhr, W. y Kanngieser, E. (2003). New perspectives for single images in conservation. En *XIX CIPA International Symposium "New perspectives to*

*save Cultural Heritage*", 30 Sep-04 Oct 2003. Antalya, Turkey. [En línea: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/antalya/62.pdf> consulta: 28/10/2006].

Seoane Veiga, Y. (2005 a). Documentación y reproducción en el arte rupestre gallego. En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España Mediterránea. Alicante, 25-28 de Octubre de 2004*: 411-419. Alicante: Instituto Alicantino de Cultura "Juan Gil Albert" / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

Seoane Veiga, Y. (2005 b). Metodología de reproducción de grabados rupestres en Galicia. *Cuadernos de Estudios Gallegos* LII(118): 81-115.

Shennan, S. (1992). *Arqueología cuantitativa*. Barcelona: Crítica.

Swartz Jr., B.K. (1963). Aluminium powder: A technique for photographically recording petroglyphs. *American Antiquity* 28(3): 400-401.

Tanums Hällristningsmuseum (s.f.). *Documentation and Registration of Rock Art*. [En línea: [http://www.rockartscandinavia.se/pdf/Dokreg\\_eng\\_ID\\_2.pdf](http://www.rockartscandinavia.se/pdf/Dokreg_eng_ID_2.pdf) consulta 02/08/2006].

Thornbush, M. y Viles, H. (2004 a). Surface soiling pattern detected by integrated photography and image processing on exposed limestone in Oxford, England. En C. Saiz-Jimenez (ed.) *Air Pollution and Cultural Heritage*: 221-224. Lisse: Balkema.

Thornbush, M. y Viles, H. (2004 b). Integrated digital photography and image processing for the quantification of colouration on soiled limestone surfaces in Oxford, England. *Journal of Cultural Heritage* 5: 285-290.

Tricart, J. (1981). *La Tierra, planeta viviente*. Madrid: Akal.

- Turpin, S.A., Watson, R.P., Dennet, S. y Muessig, H. (1979). Stereophotogrammetric documentation of exposed archaeological features. *Journal of Field Archaeology* 6(3): 329-337.
- Vázquez Rodríguez, G.A. y Beltrán Hernández, R.I. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. Una revisión. *Interciencia* 29(10): 568-573.
- Vicent Garcia, J.M., Montero Ruiz, I., Rodriguez Alcalde, A.L., Martinez Navarrete, M.I. y Chapa Brunet, T. (1996). Aplicación de la imagen multiespectral al estudio y conservación del arte rupestre postpaleolítico. *Trabajos de Prehistoria* 53(2): 19-35.
- Vinnicombe, P. (1966). Recording rock paintings. *Man New Series* 1(4): 559-560.
- Wainwright, I.N.M. (1990). Rock painting and petroglyph recording projects in Canada. *APT Bulletin* XXII (1/2): 55-84.
- Willcox, A.R. (1967). Recording rock paintings. *Man New Series* 2(4): 629-630.